EFFETS DES ARROSAGES DU DIAZINON (BASUDIN), DU DIMÉTHOATE (CYGON) ET DU SAVON INSECTICIDE (SAFER TM) SUR LA FAUNE AVIENNE DANS LES PLANTATIONS DE SAPINS DE NOËL

Guy RONDEAU
Jean-Luc DESGRANGES

SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES N° 141
Région du Québec 1991
Service canadien de la faune

Environnement Canada
Service canadien de la faune

Environment Canada
Canadian Wildlife Service

Canada

SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES
DU SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE

Cette série de rapports donnant des informations scientifiques et techniques sur les projets du Service canadien de la faune (SCF) a démarré en 1986. L'objet de ces rapports est de promouvoir la diffusion d'études s'adressant à un public restreint ou trop volumineuses pour paraître dans une revue scientifique ou l'une des séries du SCF.

Ordinairement, seuls les spécialistes des sujets traités demandent ces rapports techniques. Ces documents ne sont donc produits qu'à l'échelon régional et en quantités limitées; ils ne peuvent être obtenus qu'à l'adresse figurant au dos de la page titre. Cependant, leur numérotage est effectué à l'échelle nationale. La citation recommandée apparaît à la page titre.

Ces rapports se trouvent dans les bibliothèques du SCF et figurent aussi dans les listes du système de référence DOBIS utilisé dans les principales bibliothèques scientifiques du Canada. Ils sont publiés dans la langue officielle choisie par l'auteur en fonction du public visé. **En vue de déterminer si la demande est suffisamment importante pour produire ces rapports dans la deuxième langue officielle, le SCF invite les usagers à lui indiquer leur langue officielle préférée. Il faut envoyer les demandes de rapports techniques dans la deuxième langue officielle à l'adresse indiquée au verso de la page titre.**

TECHNICAL REPORT SERIES
CANADIAN WILDLIFE SERVICE

This series of reports, established in 1986, contains technical and scientific information from projects of the Canadian Wildlife Service. The reports are intended to make available material that either is of interest to a limited audience or is too extensive to be accommodated in scientific journals or in existing CWS series.

Demand for these Technical Reports is usually confined to specialists in the fields concerned. Consequently, they are produced regionally and in small quantities; they can be obtained only from the address given on the back of the title page. However, they are numbered nationally. The recommended citation appears on the title page.

Technical Reports are available in CWS libraries and are listed with the DOBIS system in major scientific libraries across Canada. They are printed in the official language chosen by the author to meet the language preference of the likely audience. **To determine whether there is significant demand for making the reports available in the second official language, CWS invites users to specify their official language preference. Requests for Technical Reports in the second official language should be sent to the address on the back of the title page.**

L'illustration de la couverture est une œuvre de P. Dupuis. Elle ne peut dans aucun cas être utilisée sans avoir obtenu préalablement la permission écrite de l'auteur.

Cover illustration is by P. Dupuis and may not be used for any other purpose without the artist's written permission.

EFFETS DES ARROSAGES DU DIMÉTHOATE (CYGON), DU DIAZINON (BASUDIN) ET DU SAVON INSECTICIDE (SAFER TM) SUR LA FAUNE AVIENNE DANS LES PLANTATIONS DE SAPINS DE NOËL

Guy Rondeau[1]
Jean-Luc DesGranges[2]

SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES N°141
Région du Québec 1991
Service canadien de la faune

Ce rapport peut être cité comme suit:

Rondeau, G. et J.L. DesGranges. 1991. Effets des arrosages du diazinon (BASUDIN), du diméthoate (CYGON) et du savon insecticide (SAFER TM) sur la faune avienne dans les plantations de sapins de Noël. Foresterie Intégrée du Québec inc. pour Environnement Canada. Série de rapports techniques n°141. Service canadien de la faune, région du Québec. ix + 54 pp. + annexes.

---

[1] Éco-gestion en ressources renouvelables inc., 5797, Hochelaga, Montréal (Québec), H1N 1W6

[2] Service canadien de la faune, Environnement Canada, C.P. 10 100, Sainte-Foy (Québec), G1V 4H5

92-07039/

Publié avec l'autorisation du
Ministre de l'Environnement
Service canadien de la faune

^Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
Numéro de catalogue CW69-5/141F
ISBN 0-662-97202-3
ISSN 0831-6481

1. Oiseaux - pesticides. 2. Forêt - plantation. 3. Diazinon (insecticide).
4. Diméthoate (insecticide).

Copies disponibles auprès du

Service canadien de la faune
Région du Québec
1141, Route de l'Église, C.P. 10100
Sainte-Foy (Québec), G1V 4H5

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Direction:

FIQ	Guy Rondeau, ing.f.
SCF-QC	Jean-Luc DesGranges, Ph.D.

Rédaction:

FIQ	Guy Rondeau, ing.f.

Analyses Statistiques:

MÉSIQ	Sylvain Loranger, M.Sc.

Terrain:

FIQ	Guy Rondeau, ing.f. Richard Pelletier, ing.f. Brigitte Boisvert, tech.sc.nat. Jean Boulé, tech.sc.nat. Dominique Fontaine, tech.sc.nat. Marie-Josée Houde, tech.sc.nat. Hélène Gosselin, étudiante (agro.) Richard Mercier, manoeuvre

Analyses de Laboratoire

SCF-CNRF	Sean Kennedy, Ph.D Suzanne Trudeau, M.Sc. Anne Griffith Elyse Routhier, tech. Ghislaine Sans Cartier, tech.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier l'Association des Producteurs d'Arbres de Noël du Québec Inc. pour avoir accepté de collaborer à cette étude. Par la même occasion, nous voudrions remercier les producteurs qui nous ont permis d'utiliser leurs plantations: MM. Réal Beloin, Daniel Crète, Larry Downey, Sam Harbinson, Benoît Labbé, Jocelyn Lavertu et Serge Vaillancourt.

Nous tenons à mentionner l'enthousiaste collaboration de M. Normand Laframboise du Centre Universitaire de l'Université de Sherbrooke qui nous a permis d'utiliser les congélateurs de l'hôpital afin de conserver nos échantillons. Nous voulons remercier aussi M. Pierre Leclerc d'Éco-gestion en ressources renouvelables inc. pour avoir apporté des suggestions à l'élaboration de cet ouvrage.

Finalement cette étude n'aurait pu être réalisée sans la participation financière du Service canadien de la faune et du "PestFund" d'Environnement Canada.

RÉSUMÉ

La culture du sapin de Noël en plantation nécessite l'utilisation de nombreux pesticides. Parmi ceux-ci figurent des insecticides organophosphorés tels le diazinon et le diméthoate. Un nouvel insecticide dit biologique, le savon insecticide, est aussi utilisé. Le but de cette étude est de connaître les effets de ces trois produits sur les populations d'oiseaux nicheurs de cet habitat forestier. Elle a été réalisée aux printemps 1989 et 1990 dans des plantations composées de sapin baumier (Abies balsamea) situées dans le sud-est du Québec. À cette fin, nous avons suivi le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) ainsi que le Bruant chanteur (Melospizsa melodia). Les variables étudiées sont la mortalité des adultes suite aux applications d'insecticides, le comportement des oiseaux nicheurs, la mortalité au niveau des nichées ainsi que l'exposition des oiseaux aux insecticides organophosphorés. Sept (7) plantations d'arbres de Noël ont été suivies et un total de 87 nids de Merle d'Amérique et de 41 nids de Bruant chanteur ont été visités à une fréquence moyenne de 3 jours. À l'aide des analyses de l'activité de la cholinestérase (ChE) dans le sang des oiseaux avant et 24 à 48 heures après les applications, nous avons démontré que les Merles d'Amérique, les Bruants chanteurs ainsi que les Bruants familiers (Spizella passerina) nichant dans les plantations traitées ont été exposés au diazinon et au diméthoate ($p < 0,05$). Les Merles d'Amérique immatures arrosés au diazinon ont aussi affiché une exposition à cet insecticide ($p < 0,05$). Toutefois, malgré ces fortes baisses de la ChE (et dans certains cas, d'inhibitions importantes), aucune mortalité d'oiseau adulte n'a été observée suite à ces applications. L'observation des nichées (56 nids de Merle d'Amérique et 27 nids de Bruant chanteur) à l'aide de caméras-vidéo nous a confirmé que tous les parents étaient vivants suite aux arrosages. Il semble que les applications des insecticides à l'étude ont affecté le comportement des oiseaux nicheurs. En effet, les Merles d'Amérique ont servis significativement moins de repas à leurs oisillons suite à un arrosage fort des insecticides suivis (en incluant le savon insecticide) alors que les Bruants chanteurs sont restés significativement plus longtemps au nid (à incuber ou à couver) suite à un arrosage fort de diméthoate. Par ailleurs, nous avons observé de la mortalité totale et partielle au niveau des nichées du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur, et ce même dans les nichées témoins (non-arrosées). L'abandon de nids ainsi que l'infertilité des oeufs ont été écartés des causes pouvant expliquer ces cas de mortalité. Il apparaît que les oeufs de Merle d'Amérique sont sensibles au diazinon et au diméthoate, particulièrement lorsque les arrosages ont lieu au début de l'incubation. Pour les nichées de Bruant chanteur, il s'agit principalement d'oisillons qui meurent suite à l'application de diazinon sur les oisillons ou suite à l'application de diméthoate au stade oeuf. Il semble que l'ingestion de nourriture contaminée par ces organophosphorés soit la principale cause de la mortalité chez les oisillons de cette espèce. Les mortalités totales observées dans les nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur exposées au diméthoate sont semblables à celles observées chez les nichées témoins (18 et 25% vs 14 et 21% respectivement). Par contre, on retrouve, pour les nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur exposées au diazinon, des mortalités totales sensiblement deux fois plus importantes (31 et 38% respectivement) que ce qu'observé chez les nichées témoins de ces espèces. Aucune mortalité n'a été observée chez les nichées exposées au savon insecticide.

SUMMARY

Cultivating Christmas trees in plantations requires the use of numerous pesticides, including organophosphate insecticides, such as diazinon and dimethoate. A new so-called biological control - insecticidal soap - is used as well. The purpose of this study was to examine the effects of those three products on breeding bird populations in that type of forest habitat. The research, which was carried out in the springs of 1989 and 1990 in some balsam fir (Abies balsamea) plantations in southeastern Quebec, focussed on the American Robin (Turdus migratorius) and the Song Sparrow (Melospizsa melodis). The study variables included adult mortality following insecticide applications, the behaviour of breeding birds, nestling mortality and exposure of the birds to organophosphate insecticides. Seven Christmas tree plantations were studied, and a total of 87 American Robin and 41 Song Sparrow nests were visited every three days on average. Through analyses of blood cholinesterase (ChE) activity prior to and 24 to 48 hours after the applications, we showed that American Robins, Song Sparrows, and Chipping Sparrows (Spizella passerina) breeding in the treated plantations were exposed to diazinon and dimethoate ($p<0.05$). Signs of exposure to diazinon ($p<0.05$) were also found in young American Robins. However, despite these sharp reductions in ChE (and, in some cases, marked inhibition), no cases of adult mortality were recorded following the treatments. Through observation of the broods (56 American Robin and 27 Song Sparrow nests) by means of video cameras, we were able to confirm that all the parent birds were still alive after spraying. The insecticide applications appear to have affected the behaviour of the breeding birds. In fact, the American Robins fed their young much less frequently following heavy insecticide treatments (including insecticidal soap applications), whereas Song Sparrows remained in the nest for a significantly longer period (sitting on the eggs or nestlings) following heavy dimethoate spraying. In addition, cases of complete or partial mortality were recorded in American Robin and Song Sparrow nests, even among the control birds (non-exposed birds). Abandonment of nests and egg infertility were ruled out as possible causes of the mortality. It appears that American Robin eggs are sensible to diazinon and dimethoate, particularly when sprying is carried out early in the incubation stage. In the case of the Song Sparrow, it is mainly the nestlings that succumb after diazinon is sprayed on them or dimethoate applications are made during the egg stage. The main cause of mortality among Song Sparrow young appears to be the ingestion of food contaminated by these organophosphates. The cases of total mortality observed in American Robin and Song Sparrow broods exposed to dimethoate were similar to those recorded for control nests (18% and 25% compared with 14% and 21% respectively). However, among American Robin and Song Sparrow nestlings exposed to diazinon, essentially twice as many cases of total mortality (31% and 38% respectively) were recorded as for the control nests. No mortality was recorded for nestlings exposed to insecticidal soap.

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE RÉALISATION ii

REMERCIEMENTS iii

RÉSUMÉ iv

SUMMARY v

TABLE DES MATIÈRES vi

LISTE DES TABLEAUX viii

LISTE DES FIGURES ix

1.0 INTRODUCTION 1

2.0 LES PRODUITS 2
2.1 LA CULTURE DES SAPINS DE NOËL 2
2.2 LE DIAZINON (BASUDIN TM) 3
2.3 LE DIMÉTHOATE (CYGON 480-E TM) 5
2.4 LE SAVON INSECTICIDE (SAFER TM) 6
2.5 ARROSAGES 7

3.0 MÉTHODOLOGIE 7
3.1 SITES D'ÉTUDE 9
3.2 CHOIX DES ESPÈCES D'OISEAUX 10
3.3 DISPOSITIF DE MESURE 10
3.3.1 Recherche des nids 10
3.3.2 Recherche des oiseaux morts 11
3.3.3 Mesure de la ponte et de la productivité de la nichée 12
3.3.4 Observation du comportement lors des arrosages . 12
3.3.5 Capture des oiseaux, collecte de tissus et éviscération 14
3.3.6 Mesure de l'inhibition de la cholinestérase (ChE) 16
3.3.7 Récolte des oeufs non-éclos et des oisillons trouvés morts au nid 16
3.3.8 Autres données 17
3.4 ANALYSES STATISTIQUES 17

4.0 RÉSULTATS 18
4.1 EFFECTIFS STATISTIQUES 18
4.2 DÉTERMINATION DE L'EXPOSITION 20
4.2.1 Effets sous-létaux: l'activité de la cholinestérase 20
4.2.1.1 Le Merle d'Amérique 21
4.2.1.2 Le Bruant chanteur 23

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

4.2.1.3 Le Bruant familier 27
4.2.2 Présence de résidus d'organophosphorés dans le tube digestif des oiseaux adultes 28
4.3 OBSERVATIONS SUR LE COMPORTEMENT DES OISEAUX NICHEURS 29
4.3.1 Durant les pulvérisations 29
4.3.2 Suivant les arrosages 31
4.4 MORTALITÉ DES OISEAUX ADULTES 33
4.5 MORTALITÉ DES OEUFS ET DES OISILLONS 34
4.5.1 Le Merle d'Amérique 34
4.5.2 Le Bruant chanteur 36
4.5.3 Performances reproductrices 39
4.6 RÉSIDUS D'ORGANOPHOSPHORÉS DANS LES OEUFS ET LES OISILLONS 39
4.6.1 Oeufs 39
4.6.2 Oisillons 41
4.7 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS 43
4.7.1 Le Merle d'Amérique 43
4.7.2 Le Bruant chanteur 44
4.7.3 Le Bruant familier 45
4.7.4 La mortalité totale observée 46

5.0 DISCUSSION 47

6.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 51

7.0 LISTE DES RÉFÉRENCES 52

ANNEXES 55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Nombre d'échantillons de sang et de cerveaux récoltés par espèce d'oiseaux et par type de traitements. 21

Tableau 2. Analyse de variance pour la comparaison de l'activité de la cholinestérase du sang des oiseaux entre les échantillons témoins et ceux ayant subit l'arrosage d'un insecticide.. . . 24

Tableau 3. Analyse de variance pour la comparaison de l'activité de la cholinestérase du cerveau des oiseaux entre les échantillons ayant subit l'arrosage d'un insecticide organophosphoré et les témoins. 24

Tableau 4. Résultats des analyses des résidus d'organophosphorés dans le tractus digestif des oiseaux adultes récoltés entre 24 et 48 heures suivant les arrosages ainsi que dans les ytactus des oiseaux témoins. 29

Tableau 5. Comparaison des variables du comportement (165 heures d'enregistrements vidéo) entre les nids traités et les nids témoins des nichées du Merle d'Amérique (42) et du Bruant chanteur (24). 33

Tableau 6. Résultats des analyses de résidus d'organophosphates dans les oeufs trouvés morts au nid. 40

Tableau 7. Résultats des analyses des contenus abdominaux des oisillons trouvés morts dans les nids suivant les arrosages d'organophosphorés. 42

Tableau 8. Synthèse des effets du diméthoate, du diazinon et du savon insecticide sur les variables étudiées pour le Merle d'Amérique, le Bruant chanteur et le Bruant familier. 44

Tableau 9. Mortalité totale (oeufs et oisillons) observée chez les nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur en fonction de l'insecticide appliqué. 46

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Merles d'Amérique adultes avant et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides. 25

Figure 2. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Merles d'Amérique immatures avant et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides. 25

Figure 3. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Bruants chanteurs adultes avant et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides. 26

Figure 4. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Bruants familiers adultes avant et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides. 26

Figure 5. Taux d'éclosion et de survie des jeunes des nichées de Merle d'Amérique témoins et arrosées avec le diazinon, le diméthoate et le Safer; ventilés en fonction des périodes de développement de la nichée au moment des arrosages. Le nombre de nids (non prédatés) utilisé pour les calculs est indiqué au dessus des pourcentages. 37

Figure 6. Taux d'éclosion et de survie des jeunes des nichées de Bruant chanteur témoins et arrosées avec le diazinon, le diméthoate et le Safer; ventilés en fonction des périodes de développement de la nichée au moment des arrosages. Le nombre de nids (non prédatés) utilisé pour les calculs est indiqué au dessus des pourcentages. 38

1.0 INTRODUCTION

La population est de plus en plus préoccupée par les effets découlant de l'utilisation des pesticides dans l'environnement. Elle est consciente que si la faune est affectée par ces produits, il pourrait en être de même pour les humains. Dans le but de connaître les effets des insecticides sur l'environnement, il s'avère primordial que la recherche dépasse le cadre de l'expérimentation en laboratoire et qu'elle se fasse également sur le terrain.

Suite à des études portant sur les effets du diazinon et du diméthoate sur les communautés aviennes des milieux urbains et agricoles, Environnement Canada était intéressé de connaître les effets de ces insecticides sur les populations aviennes des milieux forestiers. En milieu arboré, ces organophosphorés sont utilisés de façon courante dans les plantations de sapins de Noël. L'application de ces produits coïncide avec la période de nidification de la plupart des espèces d'oiseaux fréquentant ce type particulier de sapinière.

Au Canada, le sapin de Noël est une ressource forestière importante dans cinq provinces: Le Manitoba, l'Ontario, le Québec, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse. C'est le Nouveau-Brunswick qui vend le plus grand nombre de sapins de Noël. Cependant, c'est au Québec que le sapin de Noël est le plus cultivé en plantation. Les régions des Cantons de l'Est et de la Beauce sont celles où se situent la plus grande concentration des plantations québécoises.

En fonction du besoin d'évaluer le diazinon dans le contexte de son homologation officielle pour la culture des arbres de Noël, la présente étude vise essentiellement, sous un angle comparatif, à 1) déterminer l'exposition des oiseaux aux produits à l'étude, à 2) observer la présence de mortalité, à 3) évaluer les conséquences de ces insecticides sur le comportement des adultes et 4) sur le succès de la reproduction des nichées suite aux pulvérisations de diméthoate et de diazinon dans les plantations de sapins de Noël. L'étude a été réalisée aux printemps 1989 et 1990 dans la région environnante de la ville de Sherbrooke (Québec).

L'ensemble des différents scénarios d'arrosage a été suivi dans le but de

connaître les effets de ces insecticides organophosphorés aux concentrations et aux dates généralement utilisées pour la culture des sapins de Noël.

2.0 LES PRODUITS

2.1 LA CULTURE DES SAPINS DE NOËL

Les Nord-Américains ont coutume de décorer un conifère à l'occasion des Fêtes de Noël. De plus en plus, les consommateurs préfèrent les arbres naturels aux arbres artificiels. Cependant, les acheteurs deviennent de plus en plus exigeants quant aux critères esthétiques et à la qualité du produit.

Il faut compter une quinzaine d'années afin de produire un arbre de Noël qui soit conforme aux exigences du marché. La culture du sapin de Noël nécessite une intervention constante à partir du moment où le terrain est préparé jusqu'à l'empaquetage et la mise en vente. Les principaux facteurs de classement d'un arbre de Noël sont la forme conique, la forte densité du feuillage, la couleur vert-foncée et la fraîcheur du produit. La culture de l'arbre de Noël en plantation permet d'offrir aux consommateurs un arbre de qualité. C'est pourquoi les arbres cultivés sont plus populaires que les arbres récoltés en forêt (sauvageons).

Un arbre de Noël cultivé est un conifère qui a grandi en plantation et qui a subi de multiples tailles afin de lui conférer une forme conique. C'est le sapin baumier (Abies balsamea) qui occupe la plus grande part du marché. Cependant, on retrouve maintenant une autre espèce de sapin provenant de l'Ouest canadien (Abies amabilis). L'est des États-Unis représente la plus grande part du marché des sapins de Noël cultivés au Québec. Cependant, les Américains produisent des variétés de sapin qui compétitionnent sérieusement la production québécoise. C'est principalement dans les états de l'ouest et du sud que l'on cultive intensivement des sapins à croissance rapide et de très bonnes qualités. Cette concurrence force nos producteurs à produire des sapins de qualité supérieure aux leurs.

Le producteur désirant mettre en marché un sapin de belle qualité doit lutter contre de nombreux ravageurs. De plus, il doit être en mesure de déceler rapidement les symptômes avant-coureurs d'infestation et de trouver des façons de s'en débarrasser au moindre coût. Actuellement, le moyen le plus efficace de lutte demeure l'application de pesticides. La totalité des producteurs de sapins de Noël utilisent des insecticides afin de lutter contre les insectes qui s'attaquent au feuillage. Contrairement à ce qui se passe en forêt publique et privée où une à trois pulvérisations de pesticides peuvent être appliquées au cours de la vie d'un peuplement forestier (40 à 70 ans), la monoculture de sapins demande une utilisation intensive de pesticides de toutes sortes sur une base annuelle et ce aussi longtemps que les terrains serviront à cette fin. Les insecticides sont pulvérisés systématiquement tôt au printemps afin de prévenir toute infestation. Une deuxième application peut-être envisagée si la première n'a pas donné les résultats escomptés ou si les populations d'insectes sont plus fortes que prévues. Le producteur choisi l'insecticide approprié en tenant compte de la température, du type d'infestation et de l'avancement de la croissance de la pousse annuelle. Présentement, le diazinon et le diméthoate sont les produits les plus fréquemment utilisés au Québec dans ce contexte (B. Labbé, Association provinciale des producteurs d'arbres de Noël du Québec (APANQ), communication personnelle).

2.2 LE DIAZINON (BASUDIN TM)

Le diazinon [acide phosphorothioique; 0,0-déthyl 0-6 méthyl-2-(1-méthyléthyl)-4-pyrimidinyl ester] est un insecticide de contact appartenant au groupe des organophosphorés. On l'utilise à des fins domestiques, commerciales et agricoles. Lors des pulvérisations dans les plantations de sapins de Noël, la formule de diazinon utilisée est vendue sous la marque de commerce BASUDIN 500 E.C.. Cette formulation à une concentration de 500 grammes de matière active par litre de produit. C'est un concentré émulsifiable également utilisé pour la répression des insectes sur les fruits, les légumes, les plantes ornementales, le gazon et pour le contrôle des mouches. Le BASUDIN est pulvérisé dès l'apparition des insectes à raison de 1.0 litre à l'hectare (i.e. 1.0 à 1.5 litre de produit par 1000 litres pulvérisés). Plusieurs espèces nuisibles sont visées

quoiqu'au moment de notre étude, ce sont surtout les pucerons des pousses du sapin (Mindarus abietinus) qui ont été la cible des traitements.

Comme la plupart des organophosphorés, le diazinon est généralement peu persistant dans l'environnement. Le diazinon n'est pas très soluble dans l'eau. Sa persistance dans l'eau est brève (~30 jours) et est influencée par le pH (Bartsch 1974; Eisler 1986). Dans le sol, le diazinon a une demie-vie de 17 jours à 22 % d'humidité. Dans le sol, 90 % du diazinon est dissipé après trois semaines; il est donc lessivé en quasi totalité dans le réseau de drainage. Sur le feuillage, le diazinon se dégrade rapidement (demie-vie de huit jours). Selon Harris et al. (1977), plusieurs pulvérisations successives peuvent parfois amener la contamination de l'eau et du sol. Un des sous-produits du diazinon, le diazoxon, possède une pouvoir inhibiteur de la cholinestérase 10 000 fois plus grand que celui du diazinon. La température et l'humidité influencent la vitesse de dégradation du diazinon. Il peut persister plus longtemps dans l'environnement lorsque la température est basse. Dans les sols humides, le diazinon est plus toxique que dans les sols secs. La principale réaction de dégradation du diazinon est l'hydrolyse de l'ester thio-phosphoré résultant en pyrimidinol qui n'a pas d'action inhibitrice de la cholinestérase. Les microorganismes (Arthrobacter, Melophthora, Pseudomona, Streptomya, Trichoderma) jouent un rôle de premier ordre dans les mécanismes de dégradation du diazinon. Des résidus de diazinon ont été détectés dans les invertébrés du sol (162 ppm) quelques mois après une pulvérisation au sol (8.9 kg/ha). Des résidus ont aussi été trouvés dans des plantes (carotte, huile d'olive, chou) après l'application de diazinon. Les concentrations observées variaient entre 0.5 et 1,5 ppm. Les doses appliquées étaient de l'ordre de 1 à 3 kg/ha. Le diazinon présente donc un certain potentiel de bioconcentration.

Comme les autres organophosphorés, le diazinon agit sur les organismes vivants en réduisant l'activité de la cholinestérase (ChE) au niveau du cerveau et du sang. Les organophosphorés sont habituellement plus toxiques que les organochlorés comme le D.D.T. (Stone 1979). L'accumulation de l'acétylcholine dans les tissus nerveux amène une altération de la transmission des impulsions nerveuses dans les synapses (Stone 1979). Son action provoque la paralysie du muscle respiratoire ainsi que la dépression et la paralysie du centre

respiratoire (Murphy 1986). D'après Kundiev et al. (1982), les organismes vivants peuvent entrer en contact avec les organophosphorés par inhalation, ingestion ou contact dermal. Suite à une exposition orale aiguë à un pesticide organophosphoré, une inhibition de l'ordre de 80% de l'activité de la ChE provoque la mort. Dans le cas d'une exposition continuelle, l'inhibition de 50% de l'activité de la ChE suffit pour provoquer la mort (Eisler 1986). Les organismes qui survivent à une inhibition de l'activité de la cholinestérase peuvent récupérer rapidement (Eisler 1986; Stromborg et al. 1988; Niethamer et Baskett 1983).

La littérature rapporte plusieurs cas d'empoisonnement au diazinon notamment chez le canard domestique, le Canard colvert (Anas platyrhynchos), la Bernache cravant (Branta bernicla), la Bernache du Canada (Branta canadensis), le Merle d'Amérique (Turdus migratorius), le Vacher à tête brune (Molothrus ater), le Pic mineur (Picoides pubescens) et le Pigeon biset (Columbia livia) (Stone 1979; Stone 1980; Morneau et al. 1990). Un producteur de sapins de Noël a déjà constaté de la mortalité chez le Merle d'Amérique et le Merle-bleu de l'Est (Sialia sialis) suite à une application de diazinon (R. Mongeau, communication personnelle).

2.3 LE DIMÉTHOATE (CYGON 480-E ™)

Le diméthoate (0,0-diméthyl S-méthyl carbamoylméthyl phosphorodithioate) est un insecticide systémique du groupe des organophosphorés. C'est également un insecticide de contact et résiduel. La formulation utilisée pour la pulvérisation des plantations de sapins de Noël est un concentré émulsifiable à base de diméthoate vendu sous la marque de commerce CYGON (480-E ™). La concentration de diméthoate dans cette formule est de 480 grammes de matière active par litre. Cet insecticide est utilisé pour éliminer les insectes s'attaquant aux plantes à fleurs, aux arbres et aux arbustes d'ornement, aux fruits, aux légumes et aux grandes cultures. Le diméthoate tout comme le diazinon a une courte vie dans l'environnement. Dans le sol, la demie-vie du diméthoate est de 29 à 37 jours.

Le diméthoate est aussi un inhibiteur de la cholinestérase. Les effets

physiologiques sont semblables à ceux du diazinon. Une inhibition de 50% pourrait être fatale dans les cas d'exposition continuelle (Eisler 1986). Étant un insecticide systémique, le diméthoate peut être absorbé par les racines et accumulé dans les parties aériennes de la plante. Des résidus de diméthoate en concentrations suffisantes pour être toxiques pour les abeilles ont été détectés dans le nectar des fèves. Le risque toxique s'est cependant complètement dissipé après une vingtaine de jours. On fixe généralement la dose létale à 280 mg/kg pour le Faisan de chasse (Phasianus colchicus) et à 14 mg/kg pour le Canard colvert. Graham et al. (1989) rapportent qu'un pomiculteur québécois aurait trouvé plusieurs Chardonnerets jaunes (Carduelis tristis) morts à la suite d'un arrosage au diméthoate dans son verger.

2.4 LE SAVON INSECTICIDE (SAFER TM)

Le savon insecticide est un insecticide de contact qui est employé quelquefois dans les plantations de sapins de Noël. Certains acides gras qui composent ce savon pénètrent à l'intérieur du corps des insectes et provoquent la perte du contenu des cellules. Il en résulte une mort rapide des insectes soumis au contact de ce produit. Cependant, l'action insecticide du savon est nulle une fois la solution séchée. Dans les plantations de sapins de Noël et plus particulièrement pour le puceron des pousses du sapin, le fabricant recommande de mélanger le savon à de l'eau à raison d'une partie de savon par 75 parties d'eau.

Au Québec, l'utilisation de ce produit reste marginale parce que sa crédibilité n'est pas encore bien établie. Peu de producteurs l'emploient parce qu'il faut utiliser de grandes quantités d'eau pour bien appliquer le savon. Même si ce produit fait partie de la gamme d'insecticides disponibles aux producteurs de sapins de Noël, il ne constitue pas en lui même un substitut permanent à ces produits. En effet, dans un programme de lutte efficace contre les insectes nuisibles des plantations de sapins de Noël, il faut alterner les insecticides afin d'éviter l'accoutumance des insectes visés.

2.5 ARROSAGES

Dans le sud du Québec, le scénario d'arrosage le plus courant consiste en un premier arrosage de diméthoate suivi, environ 2 semaines plus tard, d'une application de diazinon. Certains producteurs n'ont effectué seulement qu'un seul arrosage, soit de diazinon ou de diméthoate. Le savon insecticide (SAFER) n'a été utilisé que par un seul producteur. Ce produit a été le seul insecticide appliqué dans ses plantations en 1990, l'année de nos travaux chez lui.

La concentration généralement utilisée pour le diazinon et le diméthoate est de 1,25 litre par hectare (l/ha). Seule la plantation ayant été arrosée une seule fois au diméthoate (Plantation de l'Estrie inc.) a reçu une concentration de 2,5 l/ha. Le savon insecticide, quant à lui, a été appliqué à l'aide d'une solution aqueuse de 1% (Safer Ltd., feuillet d'information). Pour que ce produit soit efficace, les arbres doivent être complètement mouillés par la préparation savonneuse.

Quelques producteurs ont également appliqué des engrais chimiques (Mg+, Fe+). Ces engrais étaient alors incorporés à la solution insecticide ou épandus manuellement. En 1989, à l'exception de la Plantation du Pinnacle inc., toutes les plantations ont reçu une application d'herbicide (Simazine utilisée en prémergeance) environ deux semaines avant la période d'arrosage d'insecticides. Ces données n'ont pas été recueillies en 1990.

3.0 MÉTHODOLOGIE

Selon Mineau et Collins (1988), l'observation de la mortalité des oiseaux attribuable à l'utilisation des pesticides constitue le meilleur indicateur de l'impact direct des arrosages. Cependant, cette approche comporte de nombreux inconvénients difficilement surmontables.

Nous nous sommes donc penché sur l'analyse des effets de ces organophosphorés sur le succès de la reproduction des nichées, sur l'évaluation des effets sur le

comportement et sur l'évaluation des effets sous-létaux occasionnés aux oiseaux. Le succès de la reproduction (taux d'éclosion des oeufs et survie des jeunes) constitue un bon indicateur des effets de ces pesticides puisque les pulvérisations d'insecticides coïncident avec la période de nidification de la majorité des espèces d'oiseaux de ce type de milieu. En plus de l'exposition potentielle aux produits via l'alimentation des adultes et des oisillons, les oeufs et les oisillons sont susceptibles d'entrer directement en contact avec les insecticides au moment des pulvérisations elles-mêmes. Hoffman et Eastin (1981) considèrent que les embryons et les jeunes peuvent être particulièrement sensibles aux pesticides.

Nous avons cherché à connaître les modifications apportées au comportement des oiseaux nicheurs lors des applications et dans les heures suivant les arrosages car nous considérons que ces changements comportementaux pourraient avoir des effets sur la nidification. En effet, plusieurs auteurs rapportent que le comportement des vertébrés peut être altéré par l'exposition aux insecticides organophosphorés. Les manifestations peuvent s'exprimer au niveau de la vigilance (Levin et Rodnitzky 1976), des comportements alimentaires (Adams 1977) ou de l'émission du chant (Grue et Shipley 1981).

Les effets sous-létaux de l'exposition des oiseaux aux organophosphorés peuvent être évalués par l'analyse de l'inhibition de la cholinestérase. D'après Hill et Fleming (1982), la mesure de l'inhibition de cet enzyme représente une des meilleurs méthodes disponibles pour indiquer l'exposition d'un sujet à un de ces insecticides. Étant donné que nous avons affaire à des produits de contact et systémiques, il se peut que les oiseaux fréquentant les plantations de sapins de Noël soient exposés à ces produits pour des périodes assez longues suite aux arrosages.

Tel que mentionné ailleurs, l'exposition des oiseaux à ces produits peut se faire de différentes façons: le contact direct avec le produit (inhalation et contact dermal) et par l'ingestion de nourriture contaminée. Étant donné que les oiseaux sont très mobiles et que la concentration réellement appliquée peut varier d'un endroit à un autre dans une plantation, nous avons préféré rassembler l'ensemble des données de l'activité de la cholinestérase (♂♂ et ♀♀) dans le but d'avoir une

image globale de ce qui s'est généralement passé dans les plantations suite aux arrosages. Pour chaque espèce à l'étude et pour chaque organophosphoré, nous avons couplé tous les résultats se rapportant aux milieux contrôles et nous les avons comparés à l'ensemble des résultats se rapportant aux milieux traités. Dans les cas des plantations qui ont subit deux arrosages, les effets de ceux-ci ont été considérés séparément étant donné qu'ils ont été réalisés à deux semaines d'intervalles.

En ce qui concerne les scénarios d'arrosages comprenant une série de deux applications d'organophosphorés, nous n'avons pas considéré l'effet du premier arrosage lors du suivi du deuxième car le premier arrosage a toujours été exécuté au moins 15 jours avant.

3.1 SITES D'ÉTUDE

Les sites d'études se trouvent tous dans la région de l'Estrie, autour de la ville de Sherbrooke (Québec). Il s'agit de plantations de sapins de Noël ayant une superficie minimale de deux hectares. La majorité des arbres qui composent les plantations retenues ont atteint la taille maximale exigée sur le marché (soit entre 1,50 et 2,10 m de hauteur).

Comme il est impossible de prévoir le scénario d'arrosage utilisé pour chaque plantation, nous avons préalablement sélectionné 29 sites propices (voir annexe 1) afin que le maximum de combinaisons d'arrosages d'insecticides (scénarios) puissent être étudiées.

Aucune plantation de sapins de Noël de l'Estrie n'a pu être retenue comme témoin. En effet, tous les producteurs rejoints par le biais de l'Association des Producteurs d'Arbres de Noël du Québec ont utilisé des insecticides afin de lutter contre les insectes ravageurs. En fait, il est quasiment impensable de considérer produire des sapins de Noël sans les protéger contre les insectes nuisibles. Afin de contourner l'absence de plantations témoins, nous avons

utilisé les nichées qui se sont terminées avant les arrosages d'insecticides. Comme tous les arrosages d'insecticides n'ont pas été réalisés à la même époque, nous avons réussi à amasser plusieurs nids considérés comme témoins. Ainsi, les nichées contrôles ne sont pas nécessairement des nichées hâtives comparés à des nichées traitées qui se sont déroulées plus tard dans la saison. Cependant, il est prudent de dire que la majorité des nichées témoins sont plus hâtives que les nichées traitées.

3.2 CHOIX DES ESPÈCES D'OISEAUX

Nous avons choisi les espèces d'oiseaux les plus communes nichant au niveau de la strate arborée basse et de la strate herbacée pour déterminer les effets des insecticides sur l'avifaune nicheuse des plantations de sapins de Noël. Suite à la recherche de vieux nids construits au cours des années précédentes et en se fiant aux informations obtenues de producteurs familiers avec les oiseaux, nous avons sélectionné le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) et le Bruant chanteur (Melospiza melodia). Nous avons également recueilli des données partielles sur une autre espèce abondante, le Bruant familier (Spizella passerina), afin de comparer l'exposition de cette espèce qui construit son nid dans les arbres à celle du Bruant chanteur qui niche principalement dans la strate herbacée.

3.3 DISPOSITIF DE MESURE

3.3.1 Recherche des nids

Au moyen de battues menées de façon systématique au début du projet et tout au long de nos déplacements subséquents à l'intérieur des plantations, nous avons trouvé les nids de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur. La position de ces nids a été identifiée au moyen de rubans forestiers fixés à des sapins situés à quelques mètres des arbres porteurs de nids.

Nous avons noté l'emplacement de chacun des nids dans les plantations ainsi que la distance qui les séparent des rangées d'arrosage (jusqu'à concurrence de 100

mètres). Ceci nous a permis de calculer un indice d'intensité de l'arrosage pour les nids faisant l'objet d'un suivi assidu. Lorsqu'un nids était situé dans une couronne de sapin, nous mesurions la distance entre le nid et le tronc, la hauteur du nid par rapport au sol et son orientation. Nous avons noté également la hauteur du sapin ainsi que l'état de son feuillage.

3.3.2 Recherche des oiseaux morts

Entre 24 et 48 heures suivant une application d'insecticide, nous avons fouillé méticuleusement les plantations dans le but de trouver des oiseaux morts. Pour ce faire, nous avons réparti trois quadrats de 100 mètres carrés systématiquement à l'intérieur de chaque dispositif expérimental. Tous les sapins (environ 20 à 25) se trouvant dans les limites de ce quadrat ont été secoués dans le but de déloger d'éventuels cadavres d'oiseau qui seraient restés accrochés dans les branches. Ensuite, le sol a été raclé sur l'ensemble de la superficie du quadrat. Les débris amassés ont été soigneusement fouillés à la main. De plus, tout au long de nos déplacements dans les plantations, une attention particulière a été portée au repérage d'oiseaux morts.

Au cours de la saison 1990, nous avons expérimenté l'utilisation de chiens de chasse pour nous aider dans la recherche d'oiseaux morts. Pour ce faire, nous avons utilisé les services d'un dresseur de chiens de chasse qui était assisté de deux chiens entraînés (un Épagneul breton et un Griffon kortale). L'expérimentation consistait à évaluer le succès des chiens à trouver des oiseaux morts disséminés à travers une plantation. Certains oiseaux avaient été fraîchement tués alors que d'autres étaient morts depuis plusieurs heures (dont trois Bruants à gorge blanche (Zonotrichia albicollis) morts depuis quatre jours). Bien que ces chiens soient habitués à rapporter du gibier fraîchement tué, ils ont complètement ignoré ou manqué les oiseaux morts que nous avions dissimulés. D'après l'entraîneur de ces chiens, M. Fernand Thibault, il est possible que les oiseaux morts depuis quelques heures ne dégagent plus de chaleur et pas encore assez d'odeur pour attirer l'attention d'un chien rapporteur. À ce titre, nous avons observé un des chiens passer à quelques centimètres d'un oiseau mort depuis 24 heures sans le remarquer.

3.3.3 Mesure de la ponte et de la productivité de la nichée

À tous les trois jours, nous avons visité l'ensemble des nids à l'étude afin de noter le nombre d'oeufs ou d'oisillons, l'âge de ces derniers, la présence des parents au nid ainsi que le comportement de ces derniers. Les cas de prédation ont aussi été notés.

Ces visites ont servi à calculer le taux d'éclosion et de survie des jeunes. Le taux d'éclosion est le rapport du nombre d'oeufs éclos sur le nombre d'oeufs pondus tandis que le taux de survie des jeunes est le nombre d'oisillons envolés sur le nombre d'oeufs éclos. Le succès de la reproduction a été évalué en utilisant des nids qui ont été suivis depuis le début de l'incubation jusqu'à l'envol des oisillons. Dans cette étude, nous avons considéré que l'élevage de la nichée est à toute fin pratique terminé (envol des petits) lorsque les oisillons ont atteint l'âge de neuf jours pour le Merle d'Amérique et l'âge de huit jours pour le Bruant chanteur.

Nous avons minimisé le plus possible la durée des visites à chaque nid afin d'éviter de déranger inutilement la nichée et de risquer que les parents abandonnent le nid. De plus, nous diminuions ainsi de beaucoup les risques que l'emplacement du nid ne soit révélé aux prédateurs telles les Corneilles d'Amérique (Corvus brachyrhynchos) qui avaient l'habitude d'épier du sommet de leurs perchoirs nos allées et venues à l'intérieur des plantations.

Advenant la prédation d'un nid, celui-ci était exclu du traitement pour les calculs de productivité des nichées. Cependant, dans plusieurs cas, on pouvait les utiliser pour la dimension de la ponte et pour le taux d'éclosion (si la prédation survenait après l'éclosion).

3.3.4 Observation du comportement lors des arrosages

Nous avons utilisé la télémétrie et l'enregistrement vidéo pour évaluer l'importance du dérangement et l'impact potentiel des arrosages nocturnes sur le comportement de nidification des deux espèces à l'étude. Le comportement des

oiseaux nicheurs durant les pulvérisations nocturnes d'insecticides a été suivi grâce à des émetteurs posés sur des femelles de Merle d'Amérique, la faible taille du Bruant chanteur ne permettant pas la pose d'émetteur de 5 grammes (en plus l'inconfort attribuable à l'antenne).

Les arrosages réguliers étant terminés au moment où les émetteurs nous sont parvenus, nous avons dû simuler un arrosage nocturne. De plus, comme la fragilité des pousses annuelles du sapin baumier ne permet pas l'utilisation de la machinerie d'arrosage passé une certaine date, nous avons également dû simuler les stress normalement associés au passage de la machinerie d'arrosage. Pour ce faire, nous avons utilisé un véhicule tout-terrain muni d'un amplificateur et d'une lampe de tracteur. L'enregistrement en continu d'une arroseuse en action était émis à quelques 118 décibels auquel s'ajoutait le bruit généré par le véhicule et la génératrice. Seul le souffle normalement émis par l'arroseuse n'a pas été simulé.

Durant la période de nidification en 1990, des femelles du Merle d'Amérique ont été suivies à l'aide de la télémétrie afin de connaître leur réaction aux arrosages, leurs lieux de chasse et le temps qu'elles passaient dans les plantations (budget temporel).

La pose de l'émetteur sur le dos, près du croupion et en dessous des plumes de garde, a donné les meilleurs résultats. Il est utile de préciser que les réponses des femelles à l'application de ce corps étranger embarrassant et d'un poids de 5 grammes étaient très individuelles. Certaines femelles sont retournées directement au nid alors que d'autres ont arraché très rapidement l'émetteur (avec les plumes auxquelles l'émetteur était collé). Ces émetteurs arrachés ont été retrouvés et posés sur d'autres femelles de Merle d'Amérique.

Nous avons aussi essayé la pose de l'émetteur à l'aide d'un collier de plastique. Bien que cet appareillage était ajusté de façon convenable et que les plumes du cou étaient légèrement collées afin de recouvrir le collier, nous avons vite réalisé que les oiseaux ne tolèraient pas cette méthode et les deux femelles ainsi appareillées ont finies par se tuer, le mandibule inférieur pris dans le collier.

Pour les enregistrements vidéo, deux caméras étaient placées près d'autant de nids la veille ou très tôt le matin, une heure avant les arrosages. Elles pouvaient alors être actionnées dès le début de l'application sur le terrain ce qui permettait de déranger le moins possible les oiseaux qui incubaient. Nous disposions d'une autonomie d'enregistrement de deux heures, soit le maximum des caméras à notre disposition.

Les caméras-vidéo (3) ont également servi à suivre les soins prodigués aux nichées. Les nids sous observations ont été suivis à plusieurs reprises, habituellement aux trois jours. Les périodes d'enregistrement ont toutes été réalisées le matin entre 07:00 et 09:00 (HAE). Les premières 12 minutes d'enregistrement ou le temps précédant la première visite d'un parent s'il revenait plus tôt, était pris en considération lors du visionnement afin de laisser le temps aux oiseaux de revenir au nid suite à la perturbation occasionnée par la pose de la caméra-vidéo.

À ces observations s'ajoutent celles réalisées à l'aide de jumelles depuis la bordure d'une plantation au moment d'un arrosage aérien d'insecticide.

3.3.5 Capture des oiseaux, collecte de tissus et éviscération

Des individus de trois espèces à l'étude ont été capturés afin de prélever des échantillons sanguins et des cerveaux nécessaires à la détermination de l'inhibition de l'activité de la cholinestérase. Ces prélèvements ont été réalisés quelques 24 heures avant les arrosages et entre 24 et 48 heures suivant les applications. Les captures ont été faites à l'aide de filets japonais dispersés dans les plantations, autant que possible dans les secteurs des plantations contiguës à ceux où se trouvaient les nids à l'étude. Plusieurs Merles d'Amérique adultes et immatures ont été capturés au nid même afin de prélever du sang. Dans le cas de captures d'adultes au nid, celles-ci ont été effectuées vers la fin du développement de la nichée afin d'éviter l'abandon du nid par les parents.

Les oiseaux qui se prenaient dans les filets ont été placés dans un sac de jute

pour quelques minutes afin de les calmer avant les prélèvements sanguins. Ceux-ci ont été faits dans la veine jugulaire après avoir soigneusement déplumé et désinfecté le cou à l'alcool isopropilique (70%). Le sang a été prélevé à l'aide d'une seringue à insuline de 50 microlitre (μl). Une quantité d'environ 10 et 15 μl de sang est prélevée sur chaque individu de Bruant et de Merle d'Amérique respectivement. Le sang est ensuite transféré dans 3 ou 4 micro-capillaires héparinés (2 U.S.P.). Dans le cas des Merles d'Amérique immatures (âgés de 6 jours ou plus), il s'est avéré plus facile de prélever le sang à partir de la veine alaire. L'opération a été effectuée avec un lancet qui perfore la veine au niveau du coude. Les capillaires sont alors amenés en contact avec le sang qui sort de la perforation. Les oisillons qui ont subi ce traitement étaient tous vivants 48 heures après le prélèvement.

Avant de relâcher les oiseaux, nous les gardions quelques minutes dans un sac de jute afin de nous assurer qu'ils récupèraient bien. L'ensemble de ces manipulations n'a jamais excédé 25 minutes. Pour des oiseaux de la taille du Merle d'Amérique, on suggère un délai d'environ une semaine avant d'effectuer un nouveau prélèvement sanguin (S. Kennedy, comm. pers.).

Les capillaires de sang ont ensuite été placés dans une éprouvette identifiée et cette dernière a été placée immédiatement sur de la glace. Moins de 3 heures plus tard, le sang était centrifugé afin de séparer le plasma du sang. Une fois cette étape réalisée, les éprouvettes ont été immédiatement placées sur la glace sèche puis transportées dans un congélateur à -80°C.

Quant aux cerveaux des oiseaux capturés, ils ont été prélevés immédiatement par décapitation et les têtes entières, une fois bien identifiées, ont été placées sur la glace sèche en attendant d'être transférées dans le congélateur à -80°C. Nous avons également conservé les corps de ces oiseaux (en 1990) afin de vérifier la présence de résidus d'organophosphorés dans leur tractus digestif.

Étant donné la petite dimension de l'appareil digestif des espèces à l'étude, il s'est avéré presque impossible de séparer le contenu pour fin d'analyse. Aussi, c'est l'ensemble des tissus digestifs et de leurs contenus qui ont été trituré pour disposer d'un volume suffisant pour les analyses chimiques.

Malheureusement, l'obligation de regrouper les tissus pour pouvoir réaliser une analyse ne nous permet pas de connaître les échantillons particuliers qui contenaient des insecticides. Ces analyses ont été réalisées par la firme Mann Testing Laboratories Ltd de Windsor, Ontario.

3.3.6 Mesure de l'inhibition de la cholinestérase (ChE)

Les échantillons de sang et les cerveaux ont été livrés au laboratoire du Centre national de la recherche faunique (CNRF) dans une glacière contenant de la neige sèche. Les analyses de l'activité de la ChE ont été faites selon la méthodologie utilisée par Ellman et al. (1961) et modifiée par Hill et Fleming (1982) par l'équipe de Sean Kennedy et de Suzanne Trudeau. Pour les échantillons qui ont démontré des baisses de l'activité de la ChE, deux tests de réactivation de la cholinestérase (réactivation spontanée et 2-PAM) ont été réalisés dans le but de confirmer une inhibition réelle. Toutefois, une réactivation négative ne signifie pas nécessairement qu'il n'y a pas d'inhibition. Les données brutes sont contenues dans les rapports analytiques 89.5, 90.1 et 90.3 du CNRF.

3.3.7 Récolte des oeufs non-éclos et des oisillons trouvés morts au nid

L'ensemble des oeufs non-éclos encore présents après les éclosions ont été ouverts afin de déterminer s'ils avaient été fécondés et si possible évaluer l'âge des embryons. Il est utile de préciser que les oeufs ont été récoltés qu'une fois que nous étions sûr qu'ils n'écloraient pas. En effet, il faillait attendre que la durée d'incubation soit dépassée pour réaliser qu'un oeuf présentait un problème. Ce faisant, certains oeufs ont été récoltés plusieurs jours après les arrosages, diminuant ainsi les chances de détecter l'organophosphate utilisé. Le contenu des oeufs a ensuite été placé dans un petit pot de verre pour servir à l'analyse des résidus d'organophosphorés. Aucune analyse des oeufs de Bruant chanteur récoltés n'a été réalisée vu leur faible volume. De plus, il n'y avait pas assez d'oeufs pour espérer faire des regroupements qui auraient permis des tests.

Les poussins trouvés morts au nid ont aussi été recueillis pour fin d'analyse d'organophosphorés dans leur système digestif. Étant donné la petite taille des poussins, nous avons dû homogénéiser l'ensemble du contenu abdominal pour disposer de suffisamment de tissus pour permettre les analyses. Nous avons dû, dans plusieurs cas, regrouper des échantillons pour les analyses d'oeufs ou des oisillons. Ces pools ont été faits en tenant compte des insecticides auxquels ils avaient été exposés et en séparant les échantillons par groupes d'âge.

3.3.8 Autres données

Les données de conditions atmosphériques ont été notées à chaque jour. Au début et à la fin de chaque visite à une plantation, la température, la nébulosité, la vitesse du vent ainsi que les précipitations étaient notées. Nous avons aussi utiliser les indices d'assèchement au sol calculés par la Société de conservation de l'Estrie.

3.4 ANALYSES STATISTIQUES

Comme il a été dit auparavant, aucune plantation de sapins de Noël de l'Estrie n'a pu servir de témoin puisque tous les producteurs ont recours à des insecticides afin de lutter contre les insectes ravageurs. Pour contourner cette difficulté, nous avons utilisé comme population témoin les nichées qui s'étaient terminées avant les arrosages d'insecticides. Comme tous les arrosages d'insecticides n'ont pas été réalisés à la même époque, nous disposions d'une population témoin nombreuse et bien représentative pouvant servir aux comparaisons statistiques. Les nichées exposées au savon insecticide ont été considérées comme témoins en ce qui concerne les comparaisons au niveau de l'inhibition de l'activité de la cholinestérase puisqu'il ne s'agit pas d'un insecticide organophosphoré ou d'un carbamate.

Nous avons eu recours à des statistiques descriptives (effectif, moyenne, écart-type, coefficient de variation) afin de synthétiser les informations provenant du suivi des couvées et des analyses de l'activité de la cholinestérase dans le

sang et les cerveaux.

Une série d'analyses de variance non-paramétriques (Kruskall-Wallis) comparant les données contrôles aux données traitées a servi à comparer, d'une part les résultats des analyses de l'activité de la cholinestérase obtenus avant et après les applications des insecticides et d'autre part les taux d'éclosion et les succès de la reproduction selon les différentes périodes de développement des nichées. Cette analyse permet essentiellement de comparer, sur une base probabiliste, deux ou plusieurs groupes à partir de la somme des rangs attribués à chacune des valeurs mesurées d'une variable donnée (par exemple la mesure de l'activité de la cholinestérase). Ce type d'analyse étant indépendant de la moyenne et de la variance, il n'est pas affecté par l'absence de normalité ou d'hétéroscédasticité des données (variances non-homogènes).

Pour chaque espèce et chaque insecticide, les comparaisons de l'activité de la cholinestérase ont été faites entre l'ensemble des tissus témoins et l'ensemble des tissus traités. De plus, dans le but de déterminer si les oiseaux nicheurs ont subi un arrosage fort ou faible, nous avons aussi calculé la baisse de l'activité de la ChE pour chacun des arrosages d'organophosphorés en comparant les niveaux de la ChE des échantillons traités par plantation avec les résultats de l'ensemble des échantillons témoins. Pour discerner la force d'un arrosage, le seuil de 30% a été retenu.

Une analyse de corrélation (*Tau* de Kendall) a également été réalisée sur les variables du comportement des oiseaux nicheurs dans le but de trouver des liens pouvant expliquer certaines tendances ou phénomènes. Ces statistiques ont été calculées à partir du logiciel SAS (SAS Institute 1985) et du chiffrier électronique Lotus 123 (Lotus Development Corporation 1986).

4.0 RÉSULTATS

4.1 EFFECTIFS STATISTIQUES

Vingt-neuf (29) plantations ont été visitées dans la région estrienne afin de

trouver de bons sites d'étude. Sept (7) de celles-ci ont été retenues car elles couvrent adéquatement l'ensemble des scénarios d'arrosage d'insecticides permettant la lutte des insectes dans les plantations de sapins de Noël, au Québec.

Nous croyons que les battues effectuées dans les plantations nous ont permis de trouver la majorité des nids. Seuls les nids qui ont été trouvés au stade de l'incubation ont été considérés dans cette étude. La recherche de nids de Bruant chanteur a été la plus ardue étant donné que le nids de cette espèce sont généralement dissimulés dans les herbes et que les parents hésitent à quitter leur nid, même à l'aide des battues. En 1989, nous avons découvert 35 nids de Merle d'Amérique et 15 nids de Bruant chanteur tandis qu'en 1990, 96 nids de Merle d'Amérique et 55 nids de Bruant chanteur ont été trouvés. Nous disposions donc de 131 nids de Merle d'Amérique et de 70 nids de Bruant chanteur au total.

L'établissement d'effectifs de nids suffisants pour les analyses statistiques a été particulièrement difficile étant donné un problème de prédation attribuable en partie à nos visites sur le terrain. D'une part, les Corneilles d'Amérique suivaient nos déplacements afin de repérer les nids que nous avions découverts. Cet "espionnage" a eu comme conséquence qu'un grand nombre de nids ont été prédatés peu de temps après que nous les ayons eus trouvés. À cela s'ajoutait une prédation encore plus grande imputable à des prédateurs terrestres, tels le Raton laveur (Procyon lotor) et le Renard roux (Vulpes vulpes), qui suivaient les traces odorantes laissées par nos visites répétées aux nids. Un producteur nous a d'ailleurs raconté qu'il a déjà surpris un Renard roux, grimpé dans un sapin cultivé, en train de renverser un nid de Merle d'Amérique. Malgré les précautions que nous prenions pour déjouer les Corneilles d'Amérique, nous n'avons pas pu empêcher la prédation par les prédateurs terrestres.

Au total, 41 % des nids de Merle d'Amérique trouvés ont été prédatés (témoin: 57%, n=37; diméthoate: 5%, n=44; diazinon: 8%, n=26; savon insecticide: 57%, n=7) comparativement à 53 % pour le Bruant chanteur (témoin: 52%, n=21; diméthoate: 56%, n=16; diazinon: 14%, n=22; savon insecticide: 0%, n=1). Les nichées prédatées au stade du nourrissage ont tout de même pu être considérées pour le calcul du taux d'éclosion.

Ainsi, 87 nids de Merle d'Amérique et 44 nids de Bruant chanteur font partie du dispositif expérimental. Lorsque ventilés selon les différents scénarios, nous disposons dans le cas du merle de 18 nids témoins, de 42 nids arrosés au diméthoate, de 24 nids arrosés au diazinon et de 3 nids arrosés avec le savon insecticide. Deux nichées ont subit des arrosages avec les deux insecticides organophosphorés. Dans le cas du Bruant chanteur, notre effectif statistique comprend 12 nids témoins, 11 nids arrosés au diméthoate, 19 nids arrosés avec le diazinon et un seul nid arrosé avec le savon insecticide. Aucun nid de Bruant chanteur n'a été arrosé par les deux insecticides organophosphorés.

Toutes les nichées à l'étude ont été visitées de six à neuf fois, généralement aux trois jours. Les visites se sont échelonnées entre le 20 mai et le 19 juin 1989 et entre le 7 mai et le 22 juin 1990.

4.2 DÉTERMINATION DE L'EXPOSITION

4.2.1 Effets sous-létaux: l'activité de la cholinestérase

Le tableau 1 résume le nombre d'échantillons de sang et de cerveaux récoltés par espèce selon les types d'arrosage. Un total de 219 échantillons de sang et 69 de cerveaux ont été recueillis au cours des deux campagnes de terrain. Les résultats des analyses de l'activité de la ChE dans le sang et les cerveaux sont respectivement présentés aux annexes 2 et 3. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans d'autres études québécoises concernant les espèces étudiées (annexe 4). Les figures 1, 2, 3 et 4 illustrent les variations de l'activité de la ChE dans le sang des oiseaux avant, de même qu'au cours de la deuxième journée suivant l'exposition aux deux insecticides organophosphorés. Les tableaux 2 et 3 donnent les valeurs moyennes de l'activité de la ChE, les mesures d'inhibition (exprimée en %) de l'activité de la ChE suite aux arrosages ainsi que les résultats de l'analyse de variance entre les échantillons témoins et ceux traités pour les échantillons de sang et de cerveau respectivement.

Tableau 1. Nombre d'échantillons de sang et de cerveaux récoltés par espèce d'oiseaux et par type de traitements.

Insecticide	Merle d'Amérique				Bruant chanteur		Bruant familier		Total	
	Adulte		Immature							
	Sang	Cerveau	Sang	Cerveau	Sang	Cerveau	Sang	Cerveau	Sang	Cerveau
Diméthoate	25	3	5	1	14	4	27	14	71	22
Diazinon	19	6	13	2	29	11	19	14	80	33
Témoins	16	3	9	0	20	5	23	6	68	14
Total	60	12	27	3	63	20	69	34	219	69

4.2.1.1 Le Merle d'Amérique

. Le diméthoate

- Merle d'Amérique adulte: On a constaté une variation appréciable de l'activité de la ChE du sang pour les Merles d'Amérique adultes exposés ou non au diméthoate (figure 1). Il existe néanmoins une différence significative (K.W.; p=0,03) de l'activité de la ChE entre les échantillons témoins et ceux exposés à cet insecticide (tableau 2). Dans ce cas, la baisse moyenne est de 26%, ce qui n'est pas suffisant pour parler d'inhibition véritable (Hill et Fleming 1982). Cette baisse d'activité n'a pas été constatée dans le cas des cerveaux pour lesquels l'effectif est cependant très faible, autant les adultes que les immatures.

- Merle d'Amérique immature: Malgré une valeur d'activité moyenne de la ChE plus basse de 35% chez les merles immatures exposés au diméthoate, on ne mesure de différence significative (K.W.; p=0,18) entre les activités moyennes de la ChE du sang des oisillons traités et de ceux servant de témoins. Le pourcentage de 35% de baisse moyenne de l'activité de la ChE dépasse le seuil que nous avons fixé pour caractériser un arrosage fort. Bien qu'un test de

réactivation ait été tenté pour un échantillon sanguin traité présentant un niveau d'activité de la ChE particulièrement bas (TT2PM-2; annexe 2), le test a été négatif ce qui ne nous permet pas de conclure à une exposition à un organophosphoré.

. Le diazinon

- Merle d'Amérique adulte: Malgré la forte variation de l'activité de la ChE du sang constatée chez le Merle d'Amérique adulte (témoin et diazinon; figure 1), nous observons tout de même une baisse significative (K.W.; p=0,0001) de l'ordre de 62% pour les échantillons provenant d'individus exposés au diazinon. La réactivation de deux échantillons de sang (V2PS-3 et VV2PM-1; annexe 2) affichant des niveaux d'activité de la ChE très faibles par rapport aux autres échantillons traités a été tenté. L'échantillon V2PS-3 a confirmé une inhibition de l'ordre de 50% alors que VV2PM-1 n'a pas pu être réactivé.

À l'instar du diméthoate, nous n'avons pas trouvé de différence significative (K.W.; p=0,20) quant à l'activité de l'AChE des cerveaux des merles adultes ayant été exposés au diazinon (tableau 3). D'ailleurs, aucune inhibition n'a pu être confirmée suite aux tests de réactivation (annexe 3). Il convient de mentionner toutefois que l'échantillon CC1PM-2C a pu être réactivé confirmant une baisse de 45%. Ce taux est proche de 50%, seuil nécessaire pour attribuer à un organophosphoré une importante inhibition de l'AChE.

- Merle d'Amérique immature: Les variations de l'activité de la ChE observées chez les Merles d'Amérique immatures sont beaucoup plus faibles que celles observées chez les adultes (figure 2). Nous remarquons, chez les oisillons également, une baisse très significative (66%: K.W.; p=0,0003) de l'activité de la ChE pour les échantillons de sang provenant de merles immatures exposés au diazinon (tableau 2).

Deux cerveaux de Merle d'Amérique immature ayant été exposés au diazinon (V2P-1 et V2P-2) ont été soumis aux tests de réactivation (annexe 3). Seul le cerveau V2P-1 a confirmé une inhibition de l'ordre de 32%.

4.2.1.2 Le Bruant chanteur

. Le diméthoate

Les variations de l'activité de la ChE du sang de Bruants chanteurs exposés au diméthoate sont relativement faibles comparées à celles mesurées chez les oiseaux témoins ou chez ceux exposés au diazinon (figure 3). Malgré cela, la baisse est très marquée (K.W.; p=0,009) dans le cas des échantillons de sang provenant d'individus exposés au diméthoate. Elle se chiffre à 31% en moyenne. Nous avons tenté sans succès de réactiver la ChE de deux échantillons exposés à cet insecticide (B1PS-7 et B1PS-9; annexe 2).

Contrairement au sang, on n'a pas observé de différence significative (K.W.; p=0,14) de l'activité de l'AChE des cerveaux de cette espèce, on ne retrouve pas les différences observées dans le sang. Aucune tentative de réactivation n'a été tenté dans ce cas.

. Le diazinon

La variabilité des mesures de l'activité de la ChE du sang de Bruants chanteurs exposés au diazinon est très grande (figure 3). On constate néanmoins une différence significative (K.W.; p=0,02) entre les échantillons témoins et ceux exposés au diazinon. Dans ce cas la baisse est de l'ordre 27% (tableau 2).

Trois échantillons de sang traités ont subi le test de la réactivation (annexe 2). Les échantillons LL2PBC-2 et LL2PBC-3 ont montré une inhibition considérable (particulièrement LL2PBC-2: 121%). Il est intéressant de noter, que malgré une aussi grande inhibition de l'activité de la ChE, l'oiseau était toujours vivant et ne laissait paraître rien d'anormal. Bien qu'il n'y ait pas de différence significative des niveaux d'activité de l'AChE entre les cerveaux contrôles et ceux traités au diazinon, on note tout de même une tendance à la baisse (≈ 10%) assez forte (K.W.; p=0,06) chez les oiseaux exposés. Aucun cerveau de Bruants chanteurs exposés n'a été soumis aux tests de réactivation.

Tableau 2. Analyse de variance pour la comparaison de l'activité de la cholinestérase du sang des oiseaux entre les échantillons témoins et ceux ayant subit l'arrosage d'un insecticide. Les baisses significatives ($p \leq 0,05$) apparaissent en caractères gras.

ESPÈCE		DIMÉTHOATE	DIAZINON
Merle adulte	ChE moyenne (μ/l)	1999	1042
	Baisse moyenne	**26%**	**62%**
	[n(Traités-Témoins), p]	(25-16,p=0,03)	(19-16,p=0,0001)
Merle immature	ChE moyenne (μ/l)	1116	582
	Baisse moyenne	35%	**66%**
	[n(Traités-Témoins), p]	(5-9,p=0,18)	(13-9,p=0,0003)
Bruant chanteur	ChE moyenne (μ/l)	3187	3363
	Baisse moyenne	**31%**	**27%**
	[n(Traités-Témoins), p]	(14-20,p=0,009)	(29-20,p=0,02)
Bruant familier	ChE moyenne (μ/l)	2232	2401
	Baisse moyenne	**41%**	**36%**
	[n(Traités-Témoins), p]	(27-23,p=0,0001)	(19-23,p=0,004)

Tableau 3. Analyse de variance pour la comparaison de l'activité de la cholinestérase du cerveau des oiseaux entre les échantillons ayant subit l'arrosage d'un insecticide organophosphoré et les témoins. Les baisses significatives ($p \leq 0,05$) apparaissent en caractères gras.

ESPÈCE		DIMÉTHOATE	DIAZINON
Merle adulte	AChE moyenne (μ/l)	32,3 ± 2,6	26,3 ± 6,4
	Baisse moyenne	0%	8%
	[n(Traités-Témoins), p]	(3-3, p=0,13)	(6-3, p=0,20)
Merle immature	AChE moyenne (μ/l)	9,47	7,5 ± 1,2
	Baisse moyenne	-	-
	[n(Traités-Témoins), p]	(1-0)	(2-0)
Bruant chanteur	AChE moyenne (μ/l)	23,2 ± 3,1	23,2 ± 3,1
	Baisse moyenne	10%	10%
	[n(Traités-Témoins), p]	(4-5, p=0,14)	(11-5, p=0,06)
Bruant familier	AChE moyenne (μ/l)	23,1 ± 5,2	23,2 ± 4,1
	Baisse moyenne	13%	13%
	[n(Traités-Témoins), p]	(14-6, p=0,06)	(14-6,p=0,05)

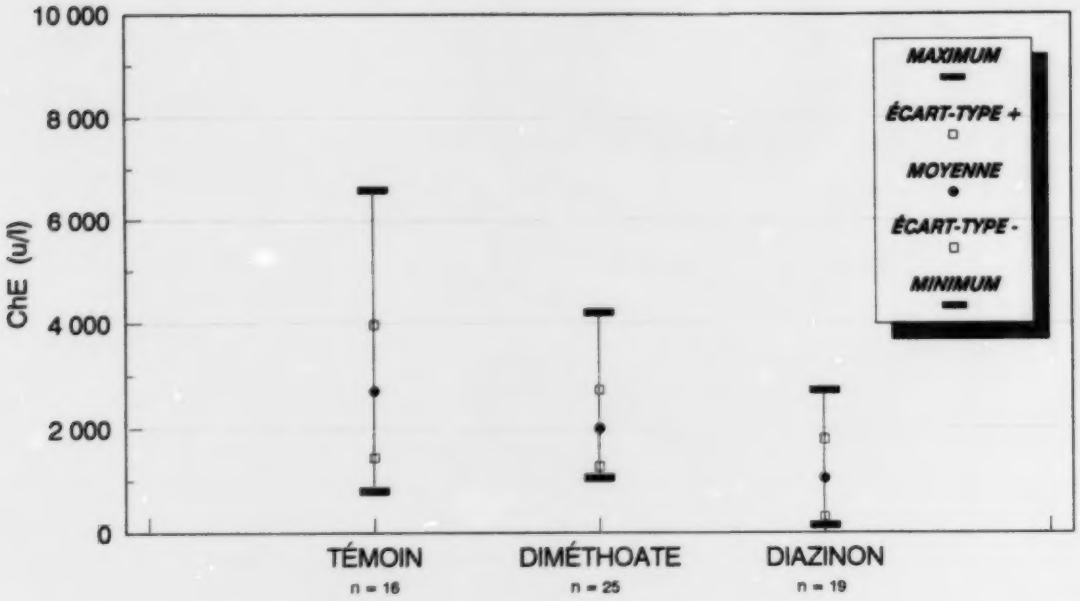

Figure 1. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Merles d'Amérique adultes avant (témoin) et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides.

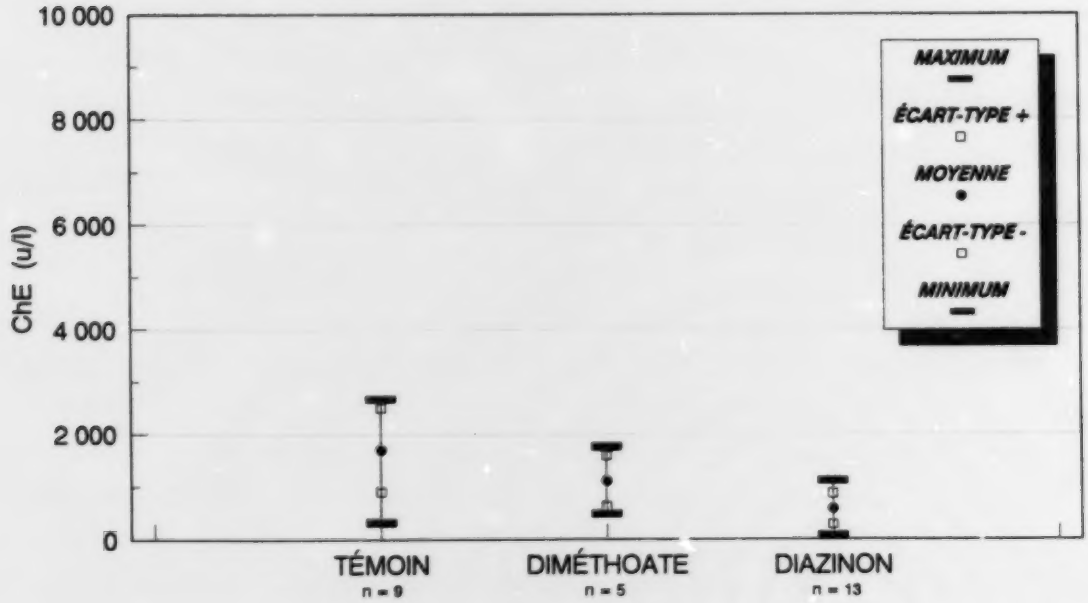

Figure 2. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Merles d'Amérique immatures avant (témoin) et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides.

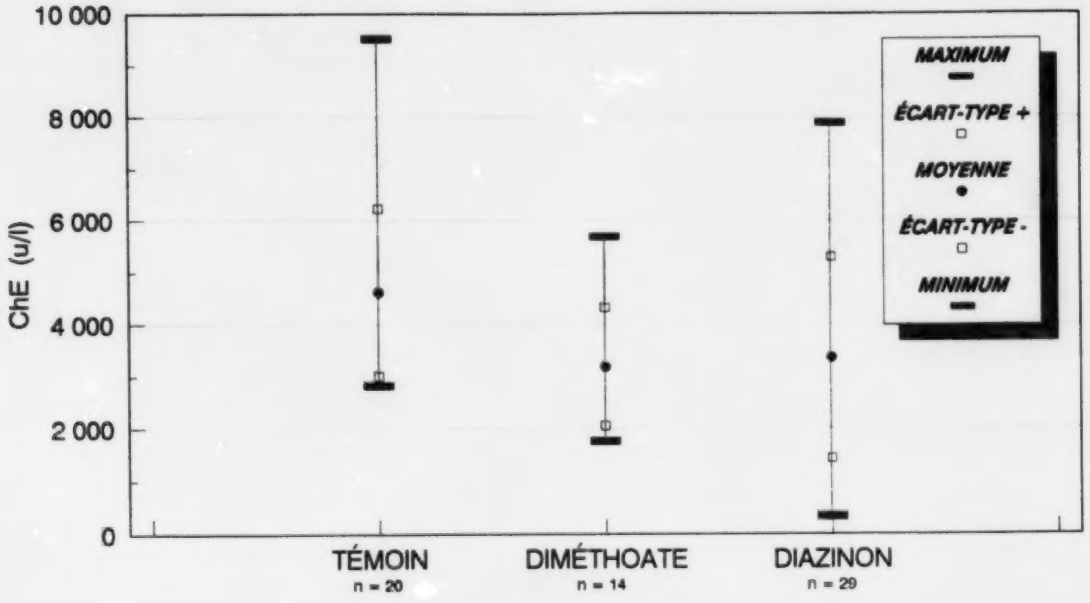

Figure 3. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Bruants chanteurs adultes avant (témoin) et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides.

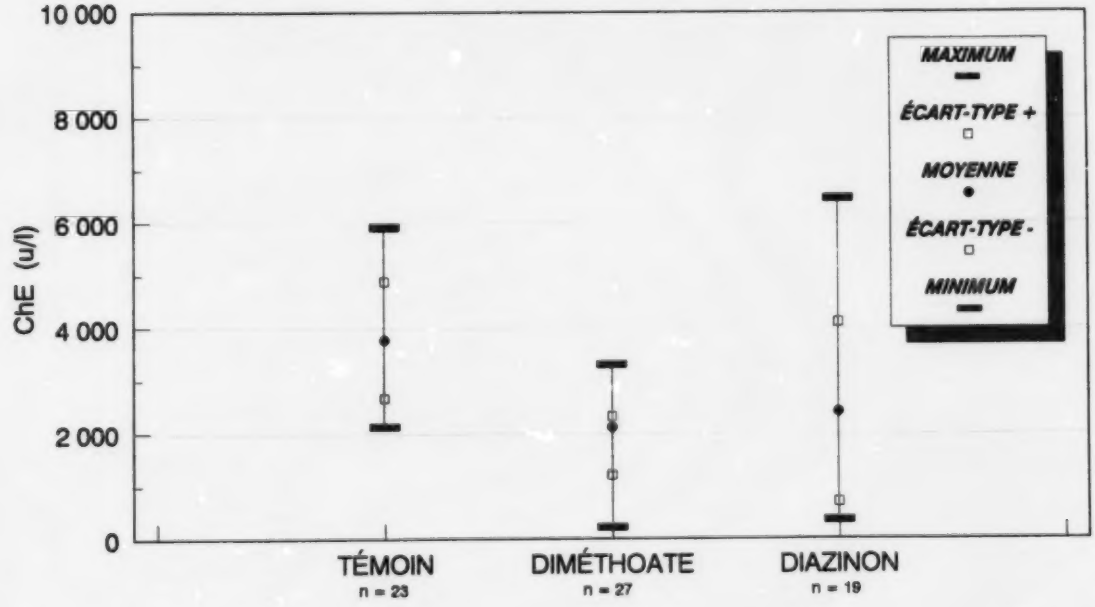

Figure 4. Variation et moyenne de l'activité de la ChE du sang de Bruants familiers adultes avant (témoin) et de 24 à 48 heures suivant les arrosages d'insecticides.

4.2.1.3 Le Bruant familier

. Le diméthoate

Bien que les variations de l'activité de la ChE du sang de Bruant familier exposé au diméthoate soient relativement faibles (figure 4), celles-ci diffèrent significativement (K.W.; p=0,0001) entre les oiseaux exposés au diméthoate et les Bruants familiers contrôles. Dans ce cas, la baisse de l'activité de la ChE est de 41%.

Quatre échantillons de sang affichant des activités de la ChE faibles (B1PS-1, D1PS-10, LL1PBF-5 et LL1PBF-16: annexe 2) ont subi les tests de réactivation sans résultats positifs. Cependant, les échantillons LL1PBF-5 et LL1PBF-16 seraient quand même fortement inhibés si on en juge par la moyenne de l'activité de la ChE trouvée chez le sang provenant d'individus contrôles.

Bien qu'il n'y ait pas de différence significative (K.W.; p=0,06) entre les niveaux moyens d'activités de l'AChE des cerveaux témoins et ceux traités, on note tout de même une tendance forte à la baisse (13%) chez les oiseaux exposés (tableau 3).

Deux cerveaux d'oiseaux fréquentant les plantations arrosées au diméthoate (D1PC-10 et LL1PBF-8C) ont subi les tests de réactivation sans qu'il ait été possible de démontrer d'inhibition (annexe 3).

. Le diazinon

Bien que les variations de l'activité de la ChE du sang des oiseaux exposés au diazinon soient très grandes (figure 4), on retrouve quand même une différence significative (K.W.; p=0,004) entre les activités moyennes de la ChE du sang traité et du sang contrôle. Cette différence s'exprime par une baisse de l'ordre de 36% dans le cas des oiseaux exposés au diazinon.

Aucun échantillon de sang de Bruant familier exposé au diazinon n'a subi de tests de réactivation. Cependant, nous pouvons supposé que les échantillons LL2PBF-1, LL2PBF-2 et TT2PBF-7 ont accusé une inhibition considérable de la ChE (annexe 2).

On retrouve une différence significative entre les niveaux de l'activité moyenne de l'AChE des cerveaux de Bruant familier traités au diazinon et des cerveaux témoins (K.W.; p=0,05: tableau 3). Deux cerveaux (T2PC-2 et LL2PBF-3C) ont été soumis aux tests de réactivation sans qu'il soit possible de les réactiver (annexe 3).

4.2.2 Présence de résidus d'organophosphorés dans le tube digestif des oiseaux adultes

Aucun organophosphoré n'a été détecté dans les tissus témoins des espèces d'oiseaux à l'étude (tableau 4). Nous n'en n'avons pas trouvé également dans les échantillons de Merles d'Amérique et de Bruants chanteurs exposés au diméthoate ou au diazinon. Cependant, des résidus d'un autre insecticide organophosphoré, le fonofos, ont été détectés (0,02 ppm) dans le pool des tubes digestifs de Bruant familier exposés au diazinon. La même situation se retrouve pour le regroupement des tubes digestifs de Bruant familier traités au diméthoate, sauf qu'en plus du fonofos (0,022 ppm), du diazinon a aussi été trouvé (0,03 ppm). Pour ces deux organophosphorés, les concentrations décelées sont très faibles, presqu'à la limite de détection de ces produits.

Le fait d'avoir détecté dans les tubes digestifs d'autres organophosphorés que ceux arrosés dans les plantations de sapins où niche le Bruant familier suggère que cette espèce est très mobile et peut s'alimenter dans d'autres milieux avoisinant les plantations où elle niche. Il est possible que ces Bruants familiers aient été exposés au fonofos dans les cultures de pommes de terre où les applications de cet insecticide (dans les semoirs) coïncident avec les arrosages d'insecticides dans les plantations de sapins de Noël .

Tableau 4. Résultats des analyses des résidus d'organophosphorés dans le tractus digestif des oiseaux adultes récoltés entre 24 et 48 heures suivant les arrosages ainsi que dans les tractus des oiseaux témoins.

ESPÈCE	Nombre de tractus digestif	Traitement	Importance de la baisse de la ChE observée suivant l'arrosage (<30% = forte)	Présence de résidus (ppm)
Merle d'Amérique	2	Diazinon	Forte	NON-DÉTECTÉ
Merle d'Amérique	2	Diméthoate	Forte	
Merle d'Amérique	1	Diméthoate	Faible	NON-DÉTECTÉ
Bruant chanteur	3	Témoin	-	NON-DÉTECTÉ
Bruant chanteur	3	Diazinon	Forte	
Bruant chanteur	1	Diazinon	Faible	NON-DÉTECTÉ
Bruant chanteur	2	Diméthoate	Forte	
Bruant chanteur	1	Diméthoate	Faible	NON-DÉTECTÉ
Bruant familier	5	Témoin	-	NON-DÉTECTÉ
Bruant familier	4	Diazinon	Forte	FONOFOS
Bruant familier	2	Diazinon	Faible	(0,02 ppm)
Bruant familier	5	Diméthoate	Forte	DIAZINON ET FONOFOS
Bruant familier	3	Diméthoate	Faible	(0,03 et 0,022 ppm)

Limite de détection: diazinon et fonofos: 0,01 ppm; diméthoate: 0,03 ppm

4.3 OBSERVATIONS SUR LE COMPORTEMENT DES OISEAUX NICHEURS

4.3.1 Durant les pulvérisations

Ces observations comportementales ont été réalisées lors d'une simulation d'arrosage nocturne. Les conditions météorologiques qui prévalaient lors de cette simulation étaient semblables à celles observées lors des arrosages normaux à savoir très peu de vent, une température d'environ 5 à 8 'C et pas ou très peu

de précipitation. La lune n'était pas présente lors du test. Lors de cette simulation (qui ressemblait beaucoup à un arrosage normal, sans le souffle cependant), deux femelles de Merle d'Amérique ont été suivies grâce à la télémétrie (une nichée à l'étape d'incubation et l'autre en nourrissage). Les deux femelles ont quitté le nid lorsque l'arroseuse-simulée est passée à proximité du nid. Dans chaque cas, les femelles ont fuit dans la forêt bordant la plantation et ont attendu la fin de "l'arrosage" pour regagner leurs nids, et ce malgré l'obscurité. La télémétrie nous a tout de même permis de constater qu'elles manifestaient encore de la nervosité quelques minutes après la simulation, quittant leurs nids à de nombreuses reprises. Aucune mortalité à ces nids (oeufs ou oisillons) n'a été constatée dans les jours qui ont suivi cet exercice.

Nous avons également suivi le comportement du Bruant chanteur lors d'un arrosage "crépusculaire" (arrosage nocturne de diazinon qui s'est terminé très tôt le matin). Deux nichées (LLB-6 et LLB-10) ont alors pu être suivies à l'aide de caméras-vidéo. Une nichée était au stade de l'incubation alors que l'autre était composée de quatre oisillons. Dans les deux cas, les parents ont quitté le nid alors que la machine était encore loin. Ils sont cependant revenus aussitôt que l'arroseuse s'éloignait. Une fois l'arrosage terminé, les oiseaux sont restés nerveux durant plusieurs minutes. Cette nervosité était peut-être due à la présence de la caméra. Une fois le calme revenu, les parents ont recommencé à incuber ou à nourrir les oisillons.

Nous avons aussi observé le comportement des oiseaux nicheurs lors de l'unique arrosage aérien (matinal). Malgré les vas-et-viens bruyants de l'avion qui vole juste au dessus des arbres, ce type d'arrosage n'a pas semblé déranger outre mesure les oiseaux nicheurs. Durant toute la durée de l'arrosage (quelque 25 minutes), aucun oiseau n'a été observé en train de fuir hors de la plantation. Nous ne pouvons dire si les oiseaux ont quitté ou non leurs nids, mais nous avons constaté qu'immédiatement après l'arrosage, les oiseaux ont recommencé à chanter et présentaient des comportements apparemment normaux.

Les arrosages terrestres semblent donc avoir un effet perturbateur beaucoup plus grand que les arrosages aériens. Peu importe si l'arrosage terrestre est

nocturne ou diurne, les oiseaux des deux espèces à l'étude ont quitté le nid laissant ce dernier complètement exposé à l'insecticide appliqué. Les oiseaux nicheurs des deux espèces étant retournés rapidement au nid, il est très probable qu'ils soient venus en contact avec les produits arrosés.

4.3.2 Suivant les arrosages

Toujours au moyen de la télémétrie, nous avons suivi pendant quelques jours après les arrosages quatre 4 nichées de Merle d'Amérique (CCM-12, TTM-6, TTM-100 et CCM-12), dont une même femelle au cours du déroulement de deux nichées (nids TTM-6 et TTM-100). Considérant le faible nombre de femelles munies d'un émetteur (26 heures de surveillance), nous croyons qu'en général, les femelles de Merle d'Amérique qui nourrissent des jeunes peuvent passer près de 80% du temps hors de la plantation à la recherche de proies. Dans la majorité des cas, les milieux recherchés par les Merles d'Amérique étaient des fossés de route ainsi que des pelouses, soit aux endroits où les lombricidés sont habituellement plus abondants. Incidemment, nous avons localisé une de nos femelles (CCM-12) sur une pelouse située à 1,6 km du nid. Nous n'avons pas noté de différence quant au pourcentage du temps passée dans la plantation avant et suivant les arrosages d'insecticides (organophosphorés et savon insecticide). Il convient cependant de rappeler que les effectifs statistiques sont très faibles.

La situation semble différente pour le Bruant chanteur. Les enregistrements vidéo réalisés chez cette espèce (45 heures) nous indiquent que les parents ne quittent probablement pas les plantations de sapins de Noël pour chercher des proies étant donné les courts laps de temps entre les visites de nourrissage des jeunes.

Un total de 83 enregistrements vidéo ont été réalisés dans le but de documenter les effets des insecticides sur les variables de comportement des oiseaux nicheurs (56 enregistrements à des nichées de Merle d'Amérique et 27 à des nichées de Bruant chanteur). Nous avons effectué une analyse de corrélation des variables de comportement pour l'ensemble des nichées (pré- et post- arrosage selon les classes d'âge) de chacune des espèces. En général, les corrélations

les plus significatives découlent de liens normaux entre les activités coutumières d'une nichée. Cependant, certaines corrélations méritent d'être discutées ici.

Pour le Merle d'Amérique, on a constaté que plus grand est le temps écoulé depuis l'arrosage et moins il y a de vers de terre servis aux oisillons (proportion Vers servis - Nb jours après l'arrosage (vidéo); p=0,0007 (55%), n=23). Pour le Bruant chanteur, on a remarqué que plus forte la dose appliquée lors d'un arrosage d'insecticide organophosphoré (selon le dosage de la ChE) et plus les parents passent du temps à incuber ou à couver leur nichée (baisse ChE observée/plantation - durée couvaison; p=0,05 (52%), n=11).

Une analyse de variance couvrant l'ensemble des variables comportementales a été réalisée en comparant pour chaque insecticide les enregistrements "témoins" et les "traités". Cette analyse, qui considère à la fois les nichées à l'incubation et celle à l'élevage, ne montre pas d'effet du diazinon sur le comportement des oiseaux nicheurs (Merle d'Amérique et Bruant chanteur). Il en est autrement pour le diméthoate, l'analyse suggérant que les Merles d'Amérique nichant dans des plantations arrosées avec ce produit procurent significativement moins de repas par oisillons (témoins: 11, traités: 8, K.W.; p=0,002). Les oisillons de Merle d'Amérique élevés dans les plantations arrosées avec le savon insecticide ont quant à eux produit significativement moins de sacs fécaux (témoins: 11, traités: 6, K.W.; p=0,03).

L'annexe 5 constitue un tableau synthétique des principales variables du comportement nicheur en fonction des insecticides, de la dose relative appliquée, du stade de la nichée et du nombre de jours suivant les arrosages. L'information présentée concerne 42 nids de Merle d'Amérique et 24 nids de Bruant chanteur pour lesquels nous pouvons juger l'intensité de l'arrosage (évaluation basée sur la baisse moyenne de la ChE des oiseaux de la plantation). Le tableau 5 regroupe les principales tendances qui se dégagent à l'examen de l'annexe 5. Le nombre de données relatives aux différentes "strates" est souvent trop faible pour permettre une analyse statistique rigoureuse de cette information.

Tableau 5. Comparaison des variables du comportement (165 heures d'enregistrements vidéo) entre les nids traités et les nids témoins des nichées du Merle d'Amérique (42) et du Bruant chanteur (24).

VARIABLES	DIMÉTHOATE	DIAZINON	SAFER
Durée de la présence au nid	**Possiblement plus de temps chez le Bruant chanteur** (peu de temps après un arrosage de forte intensité)	Aucun changement	Aucun changement
Nb de repas servis ou Nb sacs fécaux enlevés	**Moins de repas servis pour le Merle** (peu de temps après un arrosage de forte intensité)	**Moins de repas servis pour le Merle** (peu de temps après un arrosage de forte intensité)	**Moins de repas servis pour le Merle** (peu de temps après un arrosage)
% de repas Vers ou Insectes	Aucun changement	Aucun changement	Aucun changement
% temps d'alimentation dans la plantation	Aucun changement	Aucun changement	Aucun changement

4.4 MORTALITÉ DES OISEAUX ADULTES

Aucune trace de mortalité n'a été observée lors des fouilles systématiques effectuées dans chaque plantation 24 à 48 heures suivant les arrosages.

Les enregistrements obtenus à l'aide des caméras-vidéo nous ont confirmé que, pour la totalité des nid observés (n=83), les parents des deux espèces étaient toujours vivants et s'occupaient de leurs nichées plusieurs jours après les arrosages. Bien que ne puissions pas être certain qu'il s'agit bel et bien des mêmes parents puisqu'il y a possibilité de remplacement d'un parent mort, nous doutons que cela puisse se faire dans un délai aussi court et à un moment où la nidification est déjà avancée.

4.5 MORTALITÉ DES OEUFS ET DES OISILLONS

Les figures 5 et 6 présentent les taux moyens d'éclosion et de survie des jeunes du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur, cela en fonction de la période de développement de la nichée au moment des arrosages d'insecticides. Ces figures ont été construites à partir des statistiques relatives aux performances reproductrices présentées dans les annexes 6 et 7. On retrouve aussi dans ces annexes la mortalité observée (exprimée en pourcentage), le stade de développement où elle a eu lieu (oeufs et oisillons) ainsi que le type de mortalité (partielle et totale).

Ces figures décrivent l'ensemble des nichées suivies, qu'il s'agisse de premières nichées initiées au début du mois de mai ou de deuxièmes nichées réalisées au milieu de juin. Étant donné que la dimension de la ponte du Merle d'Amérique varie entre la première et la deuxième nichée (Howard 1967; Morneau et al. 1990), nous n'avons pas comparé le nombre moyen d'oeufs pondus, éclos et le nombre moyen d'oisillons envolés. Nous avons plutôt tenté d'évaluer la mortalité au nid, quand elle se produit et de quel type elle est, en comparant les taux moyens d'éclosion et de survie des jeunes entre les nichées exposées et contrôles.

4.5.1 Le Merle d'Amérique

. Témoins : Le taux moyen d'éclosion et le taux moyen de survie des jeunes calculés pour l'ensemble des nichées complétées avant les arrosages servent de mesures contrôles à comparer à celles obtenues pour les nichées exposées aux insecticides. Ces nichées témoins ont obtenu un taux moyen d'éclosion de 89% et un taux moyen de survie des jeunes de 94% (annexe 6). On constate que la mortalité est généralement faible (14%) et qu'elle survient surtout au stade des oeufs. Cette mortalité était, dans 40% des cas, partielle (au sein d'une nichée) alors que nous n'avons jamais observé de mortalité totale (lorsque l'on ne tient pas compte de la prédation).

. Le diméthoate : Le taux moyen d'éclosion et le taux moyen de survie des nichées de Merle d'Amérique exposées au diméthoate sont similaires à ceux des

nichées témoins. Toutefois, lorsque l'arrosage de diméthoate survient au tout début de l'incubation (jusqu'à la troisième journée: période 1), le taux moyen d'éclosion est significativement plus faible (K.W.; p=0,01) que celui observé chez les nichées témoins (figure 5). On remarque de plus que le taux moyen d'éclosion de ces nichées est significativement plus faible que celui des nichées arrosées au diméthoate vers la fin de l'incubation (période 2: K.W.; p=0,004) ou au début de la croissance des oisillons (période 3: K.W.: p=0,03) (figure 5).

La mortalité observée dans les nichées arrosées avec le diméthoate au début de l'incubation est partielle (au sein d'une même nichée) dans une proportion de 57% alors qu'elle est totale dans 29% des cas (annexe 6). Aucun des oisillons nés d'oeufs arrosés au diméthoate n'est mort avant l'âge d'envol fixé à 9 jours.

· Le diazinon : Globalement, le taux moyen d'éclosion est significativement plus bas (figure 5) pour les nichées exposées au diazinon que pour les nichées témoins (K.W.; p=0,03). Cela tient principalement aux faibles taux moyens d'éclosion observés lorsque les arrosages ont été réalisés pendant la ponte ou au tout début de l'incubation des oeufs (50% et 58% respectivement). Le taux moyen d'éclosion des oeufs exposés durant la ponte est significativement plus faible que celui calculé pour les nichées témoins (période 0: K.W.; p=0,01). Dans ce cas, la mortalité des oeufs a surtout été partielle (67% des cas)(annexe 6).

On n'a constaté aucune mortalité d'oisillon lorsque les arrosages ont été faits au stade des oeufs. Dans le cas des arrosages réalisés au début de la croissance des oisillons, la survie des jeunes exposés a été un peu plus faible (86%) que la survie des jeunes des nichées témoins (94%).

· Le savon insecticide : Seulement trois nichées de Merle d'Amérique (toutes au stade des jeunes) ont été trouvées dans les plantations arrosées avec le savon insecticide. Ces trois nichées n'ont subi aucune perte suite aux arrosages de savon insecticide.

4.5.2 Le Bruant chanteur

. Témoin : Le taux moyen d'éclosion des nichées témoins de Bruant chanteur est de 82% alors que le taux moyen de survie des jeunes est de 97% (figure 6). La mortalité (21%) s'affiche seulement dans quelques nichées, auxquels cas elle est habituellement totale au sein d'un même nid (annexe 7).

. Le diméthoate : Pris globalement, il n'y a pas de différence notable entre les taux moyens d'éclosion et les taux moyens de survies des jeunes des nichées témoins et de celles arrosées avec le diméthoate. On remarque toutefois des taux moyens d'éclosion et de survies plus faibles lorsque les arrosages ont lieu durant la ponte ou vers la fin de l'incubation (périodes 0 et 2; annexe 7). Aucune mortalité n'a été observée pour l'ensemble des 4 nichées arrosées au début de l'incubation. Bien que ce soit les oeufs qui aient été arrosés, ce sont surtout des oisillons qui sont morts (dans une proportion de 40 et 67% respectivement). Cette mortalité s'est manifestée de façon partielle dans la majorité des cas où elle s'est manifestée. Cette situation se démarque de ce que l'on a observé pour le Merle d'Amérique.

. Le diazinon : Il n'y a pas de différence significative entre les taux moyens d'éclosion et de survie des jeunes des nichées de Bruant chanteur témoins et celles arrosées au diazinon (figure 6). On observe toutefois une forte mortalité d'oisillons (47%) suite aux arrosages faits à l'étape du nourrissage (période 3: annexe 7). Cette mortalité a été totale pour deux des quatre nichées où elle a eu lieu. On a aussi constaté une forte mortalité lorsque les arrosages ont eu lieu vers la fin de l'incubation (37%). Dans ce cas, ce sont principalement des oisillons qui sont morts alors qu'ils avaient été exposés à l'insecticide au stade des oeufs.

Il est convient de souligner que pour les nichées exposées aux arrosages de diazinon (de diméthoate et de savon insecticide) durant le stade de nourrissage des oeufs, on constate des taux moyens d'éclosion de 100%.

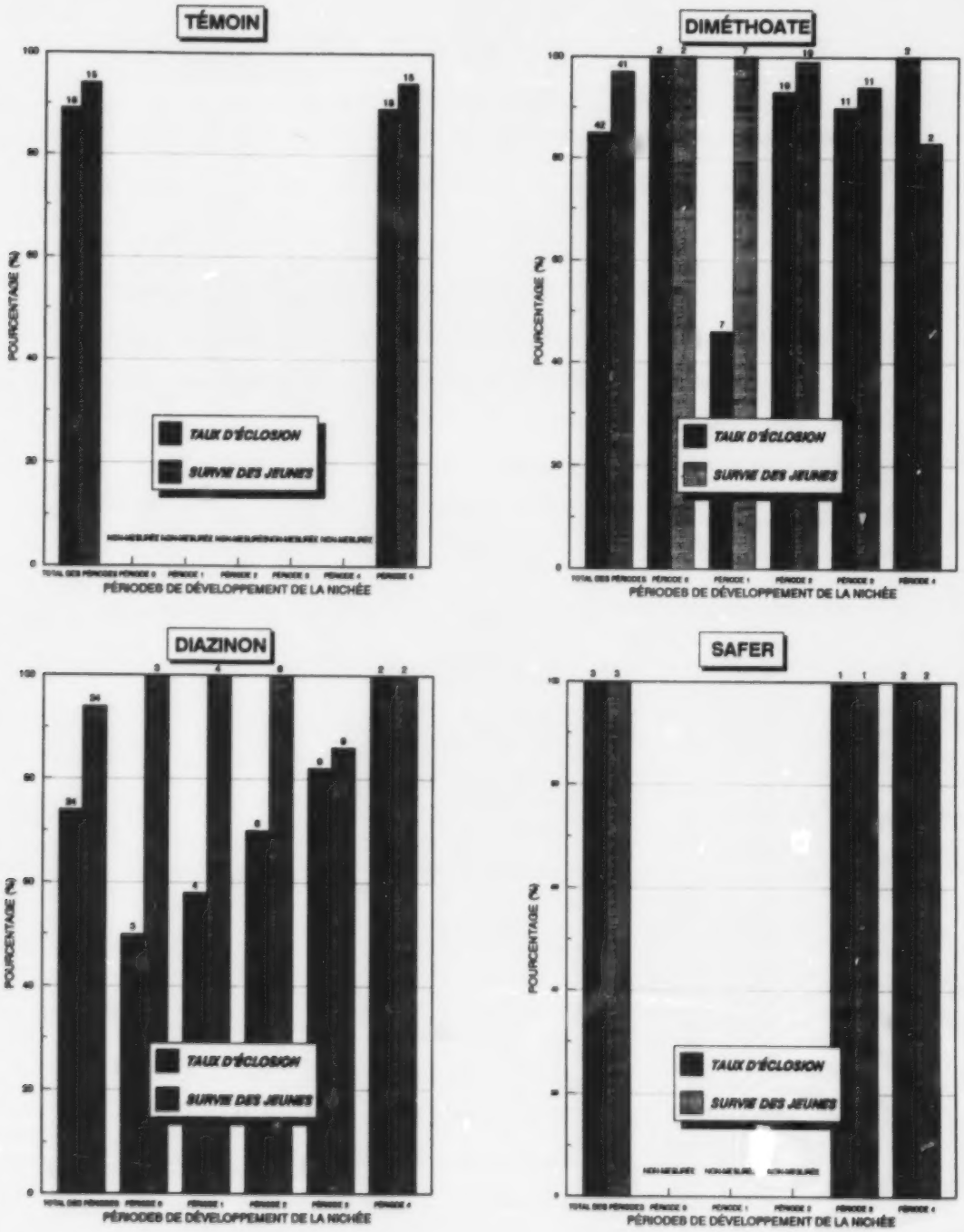

Figure 5. Taux d'éclosion et de survie des jeunes des nichées de Merle d'Amérique témoins et arrosées avec le diazinon, le diméthoate et le Safer; ventilés en fonction des périodes de développement de la nichée au moment des arrosages. Le nombre de nids (non prédatés) utilisé pour les calculs est indiqué au dessus des pourcentages.

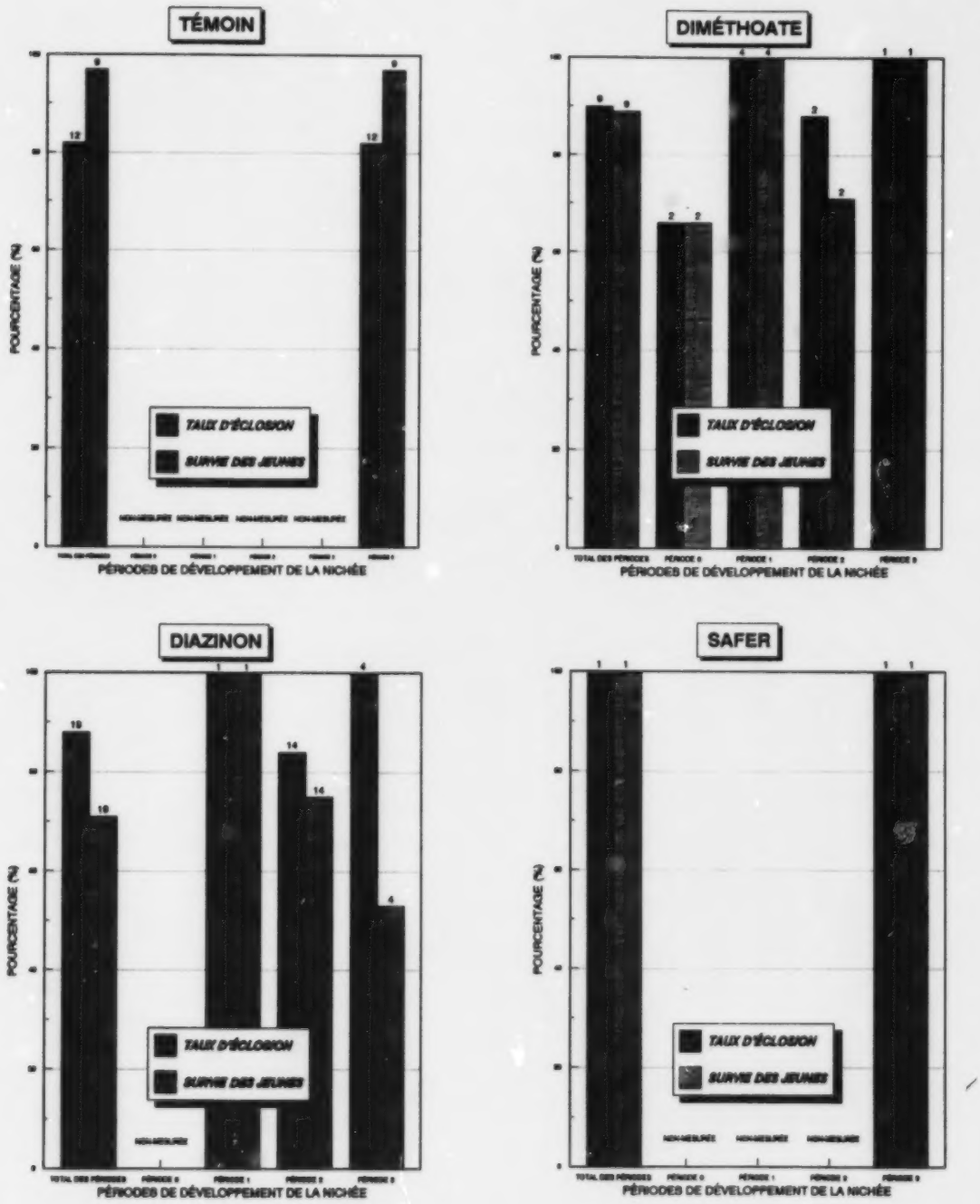

Figure 6. Taux d'éclosion et de survie des jeunes des nichées de Bruant chanteur témoins et arrosées avec le diazinon, le diméthoate et le Safer; ventilés en fonction des périodes de développement de la nichée au moment des arrosages. Le nombre de nids (non prédatés) utilisé pour les calculs est indiqué au dessus des pourcentages.

PÉRIODES DE DÉVELOPPEMENT

MERLE D'AMÉRIQUE (figure 5)

- **Période 0** du début à la fin de la ponte.
- **Période 1** du début de l'incubation au 3ème jour de l'incubation.
- **Période 2** de la 4ème à la 12ème journée de l'incubation.
- **Période 3** de l'éclosion à la 7ème journée de croissance des oisillons.
- **Période 4** de la 8ème journée de la croissance des oisillons à l'envol.
- **Période 5** arrosage réalisé après la fin de la nichée.

PÉRIODES DE DÉVELOPPEMENT

BRUANT CHANTEUR (figure 6)

- **Période 0** du début à la fin de la ponte.
- **Période 1** du début de l'incubation au 3ème jour de l'incubation.
- **Période 2** de la 4ème à la 11ème journée de l'incubation.
- **Période 3** de l'éclosion à l'envol des oisillons (8 jours).
- **Période 5** arrosage réalisé après la fin de la nichée.

· Le savon insecticide : Un seul nid de Bruant chanteur arrosé au savon insecticide a été trouvé (annexe 7). Aucune mortalité n'a été constaté pour cette nichée arrosée à l'étape du nourrissage (figure 6).

4.5.3 Performances reproductrices

L'annexe 8 donne les performances reproductrices (taille de la ponte, taux moyens d'éclosion et de survie des jeunes) pour les espèces à l'étude en fonction des insecticides, des stades de la nichée (ponte, incubation et élevage) et de l'intensité de l'exposition des arrosages.

Compte tenu du faible nombre de replicas, très peu de points intéressants ressortent d'une analyse de variance réalisée sur ce tableau de contingence. Il ressort tout de même que la taille de la ponte pourrait être affectée chez les Merles d'Amérique exposés à un arrosage de forte intensité au diazinon (K.W.; p=0,05) comparé à celle des femelles dont les nichées étaient rendues au stade de l'incubation ou de l'élevage au moment d'un arrosage fort de diazinon. Par ailleurs, on a constaté que le taux moyen de survie des jeunes de Bruant chanteur occupant des nids situés dans les sapins et ayant été exposés à un arrosage fort de diazinon lors de l'incubation est significativement plus faible (K.W.; p=0,03) que celui observé pour les nichées témoins.

4.6 RÉSIDUS D'ORGANOPHOSPHORÉS DANS LES OEUFS ET LES OISILLONS

4.6.1 Oeufs

Le tableau 6 présente les résultats des analyses de résidus d'organophosphorés des oeufs trouvés morts au nid à la saison 1990.

Aucun résidu de diméthoate n'a été trouvé dans les oeufs arrosés avec cet insecticide. Selon nos rétro-calculs, certains oeufs étaient morts avant même que l'arrosage du produit n'ait lieu. Un des oeufs de Merle d'Amérique arrosés au diméthoate est mort à l'âge de 2 jours alors qu'il a été exposé à cet

Tableau 6. Résultats des analyses de résidus d'organophosphates dans les oeufs trouvés morts au nid.

ESPÈCE	NID	Âge de l'oeuf à la mort	Âge de l'oeuf lors de l'arrosage	Nb Oeufs (Nb oeufs morts/ Nb oeufs total au nid)	Traitement	Importance de la baisse AChE (<30%=forte)	Présence de résidus (type)
Merle d'Amérique	CDM-100	10 jours	-	1 (1/4)	Témoin	-	
Merle d'Amérique	LLM-20	4 jours	-	1 (1/4)	Témoin	-	NON-DÉTECTÉ
Merle d'Amérique	LLM-5	2 jours	-	1 (1/3)	Témoin	-	"
Merle d'Amérique	CCM-21	1 jour	-	3 (3/3)	Témoin	-	"
Merle d'Amérique	CCM-6	2 jours	-	1 (1/4)	Témoin	-	NON-DÉTECTÉ
Merle d'Amérique	LLM-25	2 jours	14 jours *	1 (1/4)	Diméthoate	Forte	DIAZINON et FONOFOS (0,01 et 0,016 ppm)
Merle d'Amérique	BBM-30	4 jours	1 jour	2 (2/3)	Diméthoate	Forte	NON-DÉTECTÉ
Merle d'Amérique	TTM-1	2 jours	8 jours	1 (1/4)	Diméthoate	Faible	"
Merle d'Amérique	TTM-6	4 jours	4 jours	1 (1/3)	Diméthoate	Faible	NON-DÉTECTÉ
Merle d'Amérique	OOM-7	non-fécondé	11 jours	1 (1/4)	Diméthoate	Faible	NON-DÉTECTÉ

Limite de détection pour le diazinon et le fonofos: 0,01 ppm, diméthoate: 0,03 ppm.

insecticide à l'âge de 14 jours (soit 2 jours après l'âge d'éclosion estimé). Dans ce cas, malgré un arrosage de diméthoate, ce sont plutôt des résidus de diazinon et de fonofos qui ont été détectés (en très faibles concentrations cependant: 0,01 et 0,016 ppm respectivement). La présence de ces deux organophosphorés dans l'oeuf pourrait découler d'une exposition "hors-plantation"

de la mère avant la ponte puisque le diazinon et le fonofos n'ont pas été appliqués dans cette plantation (le diazinon sera appliqué au deuxième arrosage). Il est intéressant de noter qu'il a été possible de détecter ces produits après une exposition vieille de plus de 14 jours alors qu'aucun résidu de diméthoate n'a été détecté à l'intérieur de l'oeuf bien que celui-ci ait été récolté et congelé le lendemain d'un arrosage fort.

En ce qui concerne ces oeufs de Merle d'Amérique de la saison 1990, nous avons trouvé qu'un seul oeuf sur 13 qui n'était pas fécondé. En revanche, plusieurs oeufs témoins (7) sont morts à divers âges (surtout très jeunes: ≤ 4 jours) sans qu'il ait été possible de détecter d'organophosphates. De plus, pour plusieurs de ces oeufs, il s'agissait de mortalité partielle au sein du nid.

4.6.2 Oisillons

À la saison 1990, la majorité des oisillons trouvés morts dans les nids suite aux arrosages ont été récoltés pour fin d'analyse des résidus d'organophosphates. Les résultats de ces analyses sont présentés au tableau 7. Douze oisillons de Bruant chanteur ayant été exposés au diazinon, soit au stade poussin (4) ou au stade oeuf (8), ont dû être regroupés étant donné la quantité de tissus requise pour les analyses. Les contenus abdominaux (organes digestifs au complet) analysés provenaient de plantations ayant subi un arrosage fort (nids LLB-10 et LLB-6) et un arrosage faible (nids BBB-2, BBB-3 et BBB-10) de diazinon. Des résidus de diazinon ont effectivement été détectés dans ces tissus, en très faibles quantités cependant (0,02 ppm). Fait intriguant, du fonofos (un insecticide utilisé pour la culture des pommes de terre) a aussi été détecté dans ces échantillons laissant supposer que les Bruants chanteurs sont peut-être plus mobiles que nous pensons. Peut-être ont-ils fréquentés des cultures de pommes de terre situées à proximité de quelques unes des plantations suivies? Les quantités de résidus trouvées sont là aussi très faibles (0,025 ppm).

Soulignons que les trois oisillons de Bruant chanteur du nid LLB-6 sont morts alors que nous avions observé (pendant près de deux heures à l'aide d'une caméra-vidéo) les parents nourrir ces poussins quelques minutes seulement après

l'arrosage au diazinon. Malgré qu'il s'agisse de mortalité totale au sein de ce nid, l'abandon du nid n'est pas en cause puisque les parents ont été aperçus en train de s'occuper de la nichée plusieurs heures après l'arrosage.

Tableau 7. Résultats des analyses des contenus abdominaux des oisillons trouvés morts dans les nids suivant les arrosages d'organophosphorés.

ESPÈCE	NID	Âge de l'oisillon à la mort	Âge de l'oisillon lors de l'arrosage	Nb Oisillon (Nb ois. morts/ Nb ois. au nid)	Traitement	Importance de la baisse AChE (<30%=forte)	Présence de résidus (ppm)
Bruant chanteur	LLB-10	6 jours	1 jour	1 (1/5)	Diazinon	Forte	
Bruant chanteur	LLB-6	9 jours	9 jours	3 (4/4)	Diazinon	Forte	
Bruant chanteur	BBB-2	4 jours	fin incubation	1 (2/5)	Diazinon	Faible	DIAZINON et FONOFOS
Bruant chanteur	BBB-3	6 jours	fin incubation	3 (3/5)	Diazinon	Faible	(0,02 et 0,025 ppm)
Bruant chanteur	BBB-10	7 jours	fin incubation	4 (5/5)	Diazinon	Faible	
Merle d'Amérique	LLM-5	5 jours	5 jours	1 (1/1)	Diméthoate	Forte	NON-DÉTECTÉ
Quiscale bronzé	LLMAI-1	4 jours	2 jours	2 (?)	Diazinon	Forte	NON-DÉTECTÉ

Limites de détection diazinon et fonofos: 0,01 ppm, diméthoate: 0,03 ppm

Le contenu abdominal d'un jeune Merle d'Amérique âgé de cinq jours, trouvé mort dans le nid le lendemain d'un arrosage fort au diméthoate, ne contenait pas de résidu du pesticide. Dans ce cas, la mort est probablement due au dérangement occasionné à sa mère lors de la pose d'un émetteur quelques heures avant l'arrosage (nuit très froide: 4°C).

Deux oisillons de Quiscales bronzés (Quiscalus quiscula) trouvés morts deux jours après un arrosage fort de diazinon (survenu alors qu'ils étaient âgés de deux jours) ne contenaient pas de résidus de ce pesticide dans leurs contenus abdominaux regroupés.

4.7 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

4.7.1 Le Merle d'Amérique

Les couples nicheurs qui fréquentent les plantations de sapins de Noël sont définitivement exposés aux organophosphorés utilisés pour combattre les insectes (tableau 8). Comparée aux situation contrôles, l'activité de la ChE du sang des oiseaux adultes est significativement plus basse 24 heures après un arrosage de diméthoate ou de diazinon. Dans quelques cas, on a documenté des inhibitions importantes, de l'ordre de 40% et plus. L'activité de la ChE des Merles d'Amérique immatures a également affiché une baisse appréciable suite à l'exposition au diazinon. Par contre, aucune baisse significative de l'AChE n'a été décelée dans les cerveaux des oiseaux adultes bien que dans plusieurs cas, on ait constaté des inhibitions ou de grandes baisses de l'activité de la ChE dans le sang des mêmes individus.

Aucun résidu d'organophosphorés n'a été détecté dans les estomacs des Merles d'Amérique adultes recueillis 24 à 48 heures après les arrosages de diméthoate et de diazinon. En outre, aucun résidu n'a été trouvé dans les oeufs et les oisillons (cavités abdominales) trouvés morts au nid.

Le comportement des merles nicheurs pourrait avoir été affecté par les applications d'insecticides. Ainsi, suite à une application forte des organophosphorés à l'étude (estimée par les baisses moyennes de l'activité de la ChE observées lors d'un arrosage) ou même du savon insecticide, les merles ont servi sensiblement moins de repas à leurs oisillons. Nous ne savons pas s'ils recherchent davantage leur nourriture "hors-plantation" suite aux arrosages d'insecticides, mais nous soupçonnons que ces endroits éloignés constituent, en situation normale, des sites privilégiés pour l'alimentation.

Aucune mortalité de Merle d'Amérique adulte n'a été constatée. Nous avons cependant noté une forte mortalité dans les nichées de Merle d'Amérique arrosées au début de l'incubation avec le diméthoate ou arrosées durant la ponte et au début de l'incubation avec le diazinon. Cette mortalité au nid affecte principalement les oeufs et peut être aussi bien partielle que totale au sein du

nid. Aucune mortalité au nid n'a été décelée pour les nichées arrosées avec le savon insecticide.

Tableau 8. Synthèse des effets du diméthoate, du diazinon et du savon insecticide sur les variables étudiées pour le Merle d'Amérique, le Bruant chanteur et le Bruant familier.

ESPÈCE	PRODUIT	ChE			RÉSIDUS			COMPORTEMENT		MORTALITÉ				
		SANG		CERVEAU (AChE)	OEUF	ABDOMEN oisil.	ESTOMAC adulte	DURÉE VISITE	NB REPAS SERVIS /OISIL	ADULTE	OEUF OU OISILLON (périodes de la nichée)			
		AD.	IMM.	ADULTE							Total	Ponte	Incu-bation	Éle-vage
Merle d'Amérique	diméthoate	OUI	NON	NON	N-D*	N-D	N-D	NON	OUI	NON	NON	NON	OUI	NON
	diazinon	OUI	OUI	NON	-	-	N-D	NON	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	NON
	savon	-	-	-	-	-	-	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	NON
Bruant chanteur	diméthoate	OUI	-	NON	-	-	N-D	OUI	NON	NON	NON	NON	--OUI--	
	diazinon	OUI	-	NON	-	OUI	N-D	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI
	savon	-	-	-	-	-	-	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Bruant familier	diméthoate	OUI	-	NON	-	-	OUI	-	-	NON	-	-	-	-
	diazinon	OUI	-	OUI	-	-	OUI	-	-	NON	-	-	-	-
	savon	-	-	-	-	-	-	-	-	NON	-	-	-	-

* Abréviation: N-D: Non-détecté

4.7.2 Le Bruant chanteur

Cette espèce est également exposée aux organophosphorés comme en témoignent les baisses significatives de leur activité de la ChE sanguine. Dans certains cas, des inhibitions très importantes (jusqu'à 121%) ont été constatées chez des adultes exposés au diazinon. À l'instar du Merle d'Amérique, ces baisses ne se sont pas reflétées au niveau de l'activité de l'AChE du cerveau.

Aucun résidu d'organophosphoré n'a été trouvé dans les estomacs de Bruant chanteur recueillis 24 à 48 heures après les arrosages. De très faibles quantités de diazinon et de fonofos ont cependant été détectées dans un pool de contenus abdominaux d'oisillons de Bruant chanteur exposés au diazinon.

Dans l'ensemble, les insecticides à l'étude ne paraissent pas avoir occasionné d'effets importants sur le comportement du Bruant chanteur nicheur. Cependant, des parents arrosés lors d'arrosages de forte intensité de diméthoate ont semblé rester au nid (incuber ou couver) plus longtemps que ne le font les parents des nichées témoins.

Nous n'avons trouvé aucun Bruant chanteur adulte mort suite à une application d'un des insecticides étudiés. Par contre, nous avons constaté de la mortalité dans les nichées exposées au diméthoate durant la ponte et vers la fin de l'incubation. Cette mortalité s'est manifestée principalement chez les oisillons bien que ce soit les oeufs qui aient été en contact direct avec le diméthoate. En outre, nous avons observé de la mortalité particulièrement forte dans les nichées arrosées avec du diazinon durant la croissance des oisillons.

4.7.3 Le Bruant familier

À l'instar des deux espèces principales, le Bruant familier montrait aussi une activité de la ChE du sang significativement plus faible suite à l'exposition aux organophosphorés à l'étude. Pour cette espèce seulement, nous avons trouvé une baisse significative de l'activité de l'AChE du cerveau lorsqu'exposé au diazinon (avec une très forte tendance pour le diméthoate).

Faits surprenants, des résidus de diazinon et de fonofos ont été détectés dans des estomacs de Bruant familier 24 à 48 heures après des applications de diméthoate tandis que des résidus de fonofos ont été trouvés dans des estomacs suite à des arrosages de diazinon.

Aucun Bruant familier adulte n'a été trouvé mort dans les plantations traitées.

4.7.4 La mortalité totale observée

Le tableau 9 résume la mortalité totale observée, c'est à dire des oeufs et des oisillons, dans le cadre de la présente étude suite aux arrosages du diméthoate, du diazinon et du savon insecticide.

Tableau 9. Mortalité totale (oeufs et oisillons) observée chez les nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur en fonction de l'insecticide appliqué.

INSECTICIDE	MERLE D'AMÉRIQUE	BRUANT CHANTEUR
MORTALITÉ NATURELLE	14 % (15 nids)	21 % (9 nids)
MORTALITÉ AVEC DIMÉTHOATE	18 % (41 nids)	20 % (9 nids)
MORTALITÉ AVEC DIAZINON	31 % (24 nids)	38 % (19 nids)
MORTALITÉ AVEC SAVON INSECTICIDE	0 % (3 nids)	0 % (1 nid)

Il est intéressant de noter que les nichées témoins de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur présentent une certaine mortalité naturelle qui s'affiche souvent de façon partielle au sein du nid. On remarque que les mortalités observées pour les nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur arrosées au diméthoate sont similaires aux mortalités naturelles calculées pour les nichées témoins. Cependant, dans le cas des nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur exposées au diazinon, on note que la mortalité au nid est respectivement plus que le double (2,2 X) de celle trouvée pour les nichées de Merle d'Amérique témoins et 1,8 fois plus forte pour les nichées de Bruant chanteur exposées. Dans le cas des nichées arrosées au savon insecticide, aucune mortalité au nid n'a été observée. Cependant, nous reconnaissons que l'effectif de nids est faible dans ce cas.

5.0 DISCUSSION

Les oiseaux nicheurs des plantations de sapins de Noël sont définitivement exposés aux insecticides organophosphorés utilisés (diméthoate et diazinon). Malgré de fortes baisses de l'activité de la ChE du sang (et dans certains cas, d'inhibitions importantes de cet enzyme), nous n'avons observé aucune mortalité d'oiseaux adultes. Par contre, nos observations tendent à montrer que les nichées de ces oiseaux sont particulièrement sensibles à ces produits.

L'analyse du niveau de l'activité de la ChE dans le sang des oiseaux s'est révélée être très fiable pour déterminer une exposition à un organophosphate et pour évaluer son intensité (Hill et Fleming 1982). Nous ne pouvons en dire autant pour les analyses de l'activité de l'AChE dans les cerveaux, du moins dans le contexte de cette étude. Les inhibitions importantes de la ChE trouvées dans le sang de certains individus du Merle d'Amérique et du Bruant familier ne se sont pas reflétées dans l'AChE des cerveaux. D'après Niethamer et Baskett (1983) et Custer et Mitchell (1987), il faut plus de temps pour que l'effet de l'organophosphate se fasse sentir dans le cerveau que dans le sang. C'est pour cela, qu'à la deuxième saison de terrain, nous avons attendu une moyenne de 48 heures après l'arrosage au lieu de 24 heures, sans pour autant percevoir d'effet significatif dans les cerveaux. Un délai de 48 heures après l'arrosage est peut-être encore trop court pour permettre au produit d'exercer son effet dans le cerveau des espèces suivies.

Il est probable que les voies principales d'exposition aux pesticides responsables des baisses de l'activité de la ChE constatées chez les oiseaux adultes (de même que les jeunes Merles d'Amérique) sont associées à l'inhalation ainsi qu'au contact dermal avec les produits vu qu'aucun résidu de cet insecticide n'a été détecté dans les tubes digestifs des oiseaux sacrifiés le jour suivant les applications (sauf pour le Bruant familier). Le fait que nous n'ayons pas trouvé de résidus dans les tubes digestifs pourrait signifier que les oiseaux ne consomment généralement pas de proies exposées aux pesticides. Les baisses de l'activité de la ChE pourraient également indisposer suffisamment les oiseaux pour nuire à la recherche de nourriture ou affecter leur appétit jusqu'à ce que leur activité de la ChE se rétablisse, à un moment où les proies

contaminées ne sont peut-être plus disponibles.

Dans le cas du Bruant familier, d'autres organophosphorés que ceux appliqués ont été trouvés dans les tubes digestifs le lendemain des arrosages. Ceci suggère que le Bruant familier se nourrit peu dans les plantations de sapins de Noël où il niche et qu'il fréquentent plutôt d'autres sites pour se nourrir, où il entrerait en contact avec des organophosphorés.

Les parents quittant temporairement le nid lors des arrosages, il est possible que les oeufs ainsi que les oisillons entrent directement en contact avec l'insecticide au moment d'un arrosage. L'analyse de la ChE du sang des jeunes merles supporte cette hypothèse. Dans le cas des oeufs, une autre voie de contamination possible serait interne, par l'intermédiaire de la mère qui aurait été exposée à ces produits juste avant la ponte. Nous avons d'ailleurs documenté un cas où du diazinon et du fonofos étaient présents dans un oeuf arrosé avec du diméthoate deux jours après la date d'éclosion estimée. En plus du contact direct lors des arrosages, les oisillons peuvent être exposés aux pesticides par l'ingestion de nourriture contaminée apportée par les parents tel que l'a démontré une analyse de résidus chez un pool de contenus stomacaux d'oisillons de Bruant chanteur.

Il existe un niveau de mortalité dans les nichées témoins, mortalité que nous avons qualifiée de naturelle. Cette mortalité s'affiche souvent de façon partielle au sein d'un même nid contrairement à ce que rapporte Kemper et Taylor (1981), à savoir que lorsque la mortalité se manifeste au sein d'une couvée de Merle d'Amérique, elle est généralement complète. On ne peut cependant exclure que les oiseaux témoins puissent avoir été exposés à d'autres produits soit avant la nidification ou lors de leurs recherches de nourriture hors des plantations. Dans le contexte agro-forestier où l'étude a pris place, ce bruit de fond fait parti d'une réalité incontournable et il doit nécessairement être pris en considération.

La mortalité observée suite aux arrosages de diazinon est d'environ le double de celle dite naturelle observée dans les nichées témoins. Pour les deux espèces à l'étude, on a enregistré de fortes mortalités suite aux applications de

diméthoate, pertes dont l'ampleur dépend du stade de développement des oeufs (aussi bien dans l'oviducte que dans le nid) ou des jeunes. De plus, nos données nous suggèrent que les arrosages de diazinon durant la ponte affecteraient la dimension de cette dernière.

Les embryons du Merle d'Amérique sont particulièrement vulnérables aux deux organophosphorés étudiés. En effet, les pertes sont beaucoup plus importantes lorsque les arrosages ont lieu durant la ponte ou au début de l'incubation dans le cas du diazinon ou au début de l'incubation dans le cas du diméthoate. Plusieurs fois (parfois de façon partielle dans une nichée), les oeufs exposés n'ont pas éclos. Par contre, les oeufs de Merle d'Amérique, qui ont été exposés et qui ont survécus, ne présentent généralement pas de problème au stade des poussins. Cela suggère que l'exposition des oeufs affectés a dû être directe lors des arrosages eux-mêmes ou au contact du plumage souillé des femelles. Bien que les oisillons puissent-être exposés indirectement aux produits par ingestion de proies contaminées, cela ne doit pas se produire souvent puisque les Merles d'Amérique recherchent principalement la nourriture des jeunes à l'extérieur des plantations.

En ce qui concerne le Bruant chanteur, ce sont les oisillons qui ont été les principales victimes des applications des insecticides organophosphorés étudiés. Dans le cas du diazinon, ce sont des poussins exposés qui sont morts (de façon totale au sein du nid) tandis que pour le diméthoate, ce sont aussi bien des oeufs (de façon partielle au sein du nid) que des poussins exposés au stade oeuf qui ne se sont pas rendus à terme.

La mortalité observée au sein des nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur ne peut-être expliquée par le simple abandon des nids. Nous n'avons observé aucun abandon de nid si ce n'est la fois où la machinerie d'arrosage est pratiquement passée sur un nid de Bruant chanteur construit au sol. Étant donné le grand nombre de cas où la mortalité s'est affichée de façon partielle, nous sommes convaincus que les abandons de nid contribuent pour très peu aux taux de mortalité élevés observés dans plusieurs nichées exposées aux insecticides lors des arrosages.

De plus, nos données montrent que la presque totalité des oeufs non-éclos (traités et témoins) étaient fécondés, ce qui suggère que la mortalité partielle habituellement constatée au sein des nids ne peut tenir à une stérilité plus grande des oeufs.

L'indice d'intensité de l'exposition calculée pour chaque nid ne permet pas d'affirmer que plus un nid est situé près d'une rangée d'arrosage et plus l'exposition aux insecticides est grande. Toutefois, dans le cas du Bruant chanteur, une espèce qui construit son nid dans la partie inférieure de la couronne du sapin ou directement au sol, les nichées réalisées au sol affichent habituellement une mortalité plus élevée. Dans ces cas là, il se peut que le produit non-intercepté par le feuillage du sapin tombe au sol directement sur le nid, augmentant d'autant l'exposition de la nichée aux insecticides.

Contrairement aux Merles d'Amérique, les Bruants chanteurs nicheurs recherchent principalement les proies des jeunes à même la plantation de sapins de Noël. La mortalité au sein des nichées de Bruant chanteur semble donc découler à la fois du contact direct des oeufs avec le diméthoate que d'un empoisonnement indirect par l'ingestion de nourriture contaminée au diazinon.

Les changements comportementaux décelés suite aux arrosages, bien que notables, ne semblent pas être directement responsables de la mortalité constatée dans certaines nichées. Ces changements comportementaux, qui se traduisent par moins de proies amenées aux oisillons pour le Merle d'Amérique et par une plus grande présence au nid pour les Bruants chanteurs nichant dans les plantations arrosées au diméthoate, suggèrent que les oiseaux nicheurs sont exposés pour une période dépassant largement l'effet ponctuel de l'arrosage. L'action systémique du diméthoate (et du diazinon) fait en sorte que le produit reste longtemps dans l'écosystème (jusqu'à neuf jours) et procure ainsi une exposition continuelle par voie d'ingestion de proies contaminées ou par contact dermal.

Malgré le fait que les Merles d'Amérique amènent moins de nourriture à leurs oisillons après un arrosage fort d'organophosphoré, cela n'a pas eu d'impact important sur les nichées puisque la mortalité observée s'est manifestée principalement sur les oeufs. Il en est de même pour les Bruants chanteurs qui,

après un arrosage fort de diméthoate ont passé plus de temps au nid, tout en apportant autant de repas à leurs oisillons.

6.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Nous sommes d'avis, que tel qu'appliqué présentement (dates et doses), le diazinon est particulièrement nocif pour la faune avienne des plantations de sapins de Noël. Nous avons en effet constaté une mortalité jusqu'à deux fois plus élevée dans les nichées de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur exposées à cet insecticide (tel que confirmé par l'analyse de l'activité de la cholinestérase). L'insecticide lui-même, que ce soit par contact direct et par voie indirecte via l'ingestion de nourriture contaminée, semble directement en cause puisque les modifications apportées au comportement nidificateur, bien que présentes, ne semblent pas contribuer significativement à cette mortalité anormalement élevée. Par conséquent, nous recommandons que le diazinon ne soit plus utilisé dans les plantations de sapins de Noël durant la période de nidification des oiseaux. Le diméthoate ayant des effets moins importants sur l'avifaune, nous croyons qu'il puisse encore être employé dans le cadre d'un programme de lutte intégrée contre les insectes fréquentant ce milieu forestier puisque le savon insecticide ne procure pas à lui seul un substitut adéquat aux insecticides organophosphorés présentement appliqués.

7.0 LISTE DES RÉFÉRENCES

Adams, P.M.. 1977. Effects of anticholinergic and cholinesterase blocking drugs on appetive behavior under different deprivation techniques. Life Sci. 21:129-136.

Bartsch, E.. 1974. Diazinon. II. Residues in Plants, Soil and Water. Residue Reviews. 51:37-68.

Bunyan, P.J., D.M. Jennings, and A. Taylor. 1969. Organophosphorus poisoning: chronic feeding of some common pesticides to pheasants and pigeons. J. Agr. Food Chem. 17:1027-1032.

Bunyan, P.J., D.M. Jennings, and A. Taylor. 1968. Organophosphorus poisoning: some properties of avian esterases. J. Agr. Food Chem. 16:326-331.

Custer, T.W. and C.A. Mitchell. 1987. Exposure to insecticides of brushland wildlife within the lower Rio Grande valley, Texas, USA. Environm. Pollution 45:207-220.

Eisler, R.. 1986. Diazinon hasards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. Fish and Wildlife Service. U.S. Department of the Interior. 28 pp.

Ellman, G.L., K.D. Courtney, V. Andres Jr, and R.M. Featherstone. 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. Biomedical Pharmacology 7:88-95.

Graham, D., R. Poulin et J.L. DesGranges. 1989. Effets de l'arrosage de l'azinphos-méthyl, du malathion et du carbofuran sur les oiseaux nicheurs des pommeraies et des fraiseraies au Québec. SAGE Ltée pour Environnement Canada. Rapport technique, Service canadien de la faune, région du Québec. 63pp. + annexes.

Grue, C.E. and B.K. Shipley. 1981. Interpreting population estimates of birds following pesticide application - behavior of male starlings exposed to an organophosphate pesticide. Stud. Avian. Biol. 6:292-296.

Harris, C.R., R.A. Chapman, and J.R.W. Miles. 1977. Insecticide residues in soils on fifteen farms in southwestern Ontario 1964-1974. J. Environ. Sci. Health. 2: 163-77.

Hill, E.F.. 1988. Brain cholinesterase activity for apparently normal wild birds. J. Wildl. Diseases. 24:51-61.

Hill, E.F. and W.J. Fleming. 1982. Acetylcholinesterase poisoning of birds: field monitoring and diagnosos of acute poisoning. Environ. Toxicol. and Chemistry. 1:27-38.

Hoffman, D.J. and W.C. Eastin. 1981. Effects of malathion, diazinon and parathion on mallard embryo development and cholinesterase activity.

Environ. Research 26:472-485.

Holmes, S.B.. 1988. Behavioural and reproductive correlates of reduced levels of cholinesterase activity in Zebra Finches following acute exposures to fenitrothion. Thesis submitted to the Departement of Biology, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada. 88 pp..

Howard, D. 1967. Variation in the breeding season and clutch-size of the Robin in the Northeastern United States and the Maritimes Provinces of Canada. Wilson Bull. 79:432-440.

James, F. and H. Shugart. 1974. The phenology of the nesting season of the American Robin (Turdus migratorius) in the United States. Condor 76:159-168.

Kemper, L. and M. Taylor. 1981. Seasonal reproductive changes in the American Robin (Turdus migratorius L.) of the Pacific Northwest. Can. J. of Zool. 59:212-217.

Kundiev, Y.I., L.G. Aleksandrova, and N.G. Goncharenko. 1982. Toxicokinetics of pesticides due to different routes of entry into the organism.

Levin, H.S. and R.L. Rodnitzky. 1976. Behavioral effects of organophosphate pesticides in man. Clin. Toxicology 9:391-405.

Martin, A.D., G. Norman, P.I. Stanley, and G.E. Westlake. 1981. Use of Reactivation Techniques for the Differential Diagnosis of Organophosphorus and Carbamate Pesticide Poisoning in Birds. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 26:775-780.

Mayfield, H. 1961. Nesting success calculated from exposure. Wilson Bull. 73:255-261.

McLean I.G., J.N.M. Smith, and K.G. Stewart. 1986. Mobbing behavior, nest exposure, and nesting success in the American Robin. Behavior 96:171-186.

Miles, J.R.W. and C.R. Harris. 1978. Insecticide residues in water, sediment, and fish of the drainage system of the Holland Marsh, Ontario, Canada, 1972-75. J. Econom. Entom. 71:125-131.

Mineau, P. et B.T. Collins. 1988. Avian mortality in agroecosystems. II. Methods of detection. Pages 13-28 in M.P. Greaves, P.W. Greig-Smith et B.D. Smith, éds. Field methods for the study of environmental impacts of pesticides . Thornton Heath, Great-Britain, British Crop Protection Council Monograph No. 40.

Mineau, P. and D.B. Peakall. 1987. An evaluation of avian impact assessment techniques following broad-scale forest insecticide sprays. Environ. Tox. and Chem. 6:781-791.

Morneau, F., R. Décarie et J.L. DesGranges. 1990. Effets du traitement des arbres ornementaux au diazinon (BASUDIN) et à l'acéphate (ORTHENE) sur le

Merle d'Amérique (Turdus migratorius) en milieu urbain. Grèbe Inc. pour Environnement Canada. Rapport technique, Service canadien de la faune, région du Québec. 63pp. + annexes.

Murphy, S.D.. 1986. Toxic effects of Pesticides. pages 519-581 in C.D. Klaassen, M.O. Amdur, J. Doull. Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. 974 pp.

Niethammer, K.R. and T.S. Baskett. 1983. Cholinesterase inhibition of birds inhabiting wheat fields treated with methyl parathion and toxaphene. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 12:471-475.

Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Gaétan Morin éditeur, Chicoutimi, Québec, Canada. 850 pp.

Stone, W.B.. 1979. Poisonning of wild birds by organophosphate and carbamate pesticides. N.Y. Fish and Game J. 26:37-47.

Stone, W.B.. 1980. Bird deaths caused by pesticides used on turfgrass. New-York State Turfgrass Conf. Proc. 4:58-64.

Stromborg, K.L., C.E. Grue, J.D. Nichols, G.R. Hepp, J.E. Hines, and H.C. Bourne. 1988. Postfledging survival of European starlings exposed as nestlings to an organophosphorus insecticide. Ecology 69:590-601.

Zinkl, J.G., P.D. Mack et M.E. Mount. 1984. Brain cholinesterase activity and brain and liver residues in wildbird of a forest sprayed with acephate. Environ. Toxicol. and Chemistry. 3:79-88.

ANNEXES

Annexe 1. Noms des producteurs des plantations visitées, leur localisation ainsi que le nombre de plantations auxquelles nous avions accès.

PRODUCTEUR	LOCALISATION	NOMBRE DE PLANTATIONS VISITÉES
P. Réal Beloin	East-Hereford	3
P. de l'Estrie	Bishopton	2
P. Benoît Labbé	Fontainebleau	3
P. Crète	Randboro	4
P. Lavertu	Fontainebleau	3
P. Pinnacle	Baldwin Mills	3
C. Roy	Stornoway	1
L. Provencher	East-Clifton	1
S. Harbinson	Randboro	1
Autres	Cantons de l'Est	8
	TOTAL	29

Annexe 2. Résultats des analyses de l'activité de la cholinestérase dans le plasma des espèces d'oiseaux à l'étude.

ESPÈCE	PRODUIT	ÂGE	DURÉE (HRS)	SEXE	ANNÉE	CODE	ChE (U/l)	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION SPONTANÉE	RÉACTIVATION 2PAM
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1989	D1AS-3	800	29	747	706
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1989	S-1	3753	104		
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1989	S-5	2876	69		
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1989	S-6	2825	26		
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1989	V1AS-3	2632			
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1989	V1AS-8	6604	282		
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1990	LL1AM-1	2428	102		
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1990	LL1AM-2	2012	86		
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	TT1AM-1	1456	3		
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	OO1AM-1	2044	16		
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	OO1AM-2	2673	94		
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	OO1AM-3	3896	356		
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	OO1AM-4	3305	105		
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1990	RR2AM-1	1966	52		
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	RR2AM-2	1957	70		
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	LL1PM-2	2105	56		
Turdus migratorius	TEM	IM9			1989	S-2	2331	117		
Turdus migratorius	TEM	IM9			1989	S-3	2008	104		
Turdus migratorius	TEM	IM9			1989	S-4	2675	1		
Turdus migratorius	TEM	IM7			1989	V2AS-1	329	10		
Turdus migratorius	TEM	IM5			1989	V2AS-2	677			
Turdus migratorius	TEM	IM6			1990	LL1AM-3	2629	89		
Turdus migratorius	TEM	IM8			1990	LL1AM-4	1103	3		
Turdus migratorius	TEM	IM11			1990	RR2AM-4	2081	133		
Turdus migratorius	TEM	IM7			1990	CC1AM-3	1576	53		
Turdus migratorius	DIM	AD	41	M	1989	B1PS-3	2487	107		
Turdus migratorius	DIM	AD	41	M	1989	B1PS-4	1384	22		
Turdus migratorius	DIM	AD	49	M	1989	D1PS-4J	4210	163		
Turdus migratorius	DIM	AD	49	F	1989	D1PS-5J	3016	143		
Turdus migratorius	DIM	AD	49	F	1989	D1PS-6	1528			
Turdus migratorius	DIM	AD	49	F	1989	D1PS-7	2219	77		
Turdus migratorius	DIM	AD	49	M	1989	D1PS-8	1302	22		
Turdus migratorius	DIM	AD		F	1990	BB1PM-1	1054	53		
Turdus migratorius	DIM	AD		M	1990	BB1PM-2	1308	44		
Turdus migratorius	DIM	AD		M	1990	BB1PM-3	1742	66		
Turdus migratorius	DIM	AD	47	M	1990	LL1PM-1	1262	35		
Turdus migratorius	DIM	AD	17	M	1990	LL1PM-10	1711	36		
Turdus migratorius	DIM	AD	41	M	1990	LL1PM-4	1242	55		
Turdus migratorius	DIM	AD	19	M	1990	LL1PM-7	3187	84		
Turdus migratorius	DIM	AD	19	M	1990	LL1PM-8	1651	193		
Turdus migratorius	DIM	AD	17	F	1990	LL1PM-9	1906	80		
Turdus migratorius	DIM	AD	41	F	1990	OO1PM-1	2794	105		
Turdus migratorius	DIM	AD	41	F	1990	OO1PM-2	2063	81		
Turdus migratorius	DIM	AD	40	M	1990	OO1PM-3	2027	71		
Turdus migratorius	DIM	AD	44	F	1990	TT1PM-1	2438	54		
Turdus migratorius	DIM	AD	44	M	1990	TT1PM-2	2114	53		
Turdus migratorius	DIM	AD	43	M	1990	TT1PM-3	2139	37		
Turdus migratorius	DIM	AD	43	M	1990	TT1PM-4	2373	103		
Turdus migratorius	DIM	AD	43	M	1990	TT1PM-5	1054	56		
Turdus migratorius	DIM	IM6	42		1990	LL1PM-3	1539	43		
Turdus migratorius	DIM	IM8	40		1990	LL1PM-5	1764	33		
Turdus migratorius	DIM	IM8	40		1990	LL1PM-6	1096	62		
Turdus migratorius	DIM	IM7	42		1990	TT2PM-1	691	28		
Turdus migratorius	DIM	IM7	42		1990	TT2PM-2	489	36	471	430
Turdus migratorius	DIA	IM8	58		1990	TT2PM-3	1093	31		
Turdus migratorius	DIA	IM8	58		1990	TT2PM-4	494	33		
Turdus migratorius	DIA	AD	19	F	1989	B2PS-13	323	16		
Turdus migratorius	DIA	AD	24	M	1989	B2PS-4	790	8		
Turdus migratorius	DIA	AD	19	F	1989	B2PS-6	1695	12		
Turdus migratorius	DIA	AD	30	F	1989	T2PS-12	1671	23		

Annexe 2. Résultats des analyses de l'activité de la cholinestérase dans le plasma des espèces d'oiseaux à l'étude.

ESPÈCE	PRODUIT	ÂGE	DURÉE (HRS)	SEXE	ANNÉE	CODE	ChE (U/l)	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION SPONTANÉE	RÉACTIVATION 2PAM
Turdus migratorius	DIA	AD	30	F	1989	T2PS-15				
Turdus migratorius	DIA	AD	20	M	1989	T2PS-1A	7886	281		
Turdus migratorius	DIA	AD	20	M	1989	T2PS-1B	409	15		
Turdus migratorius	DIA	AD	20	M	1989	T2PS-2	2258	121		
Turdus migratorius	DIA	AD	20	F	1989	T2PS-3	868	15		
Turdus migratorius	DIA	AD	19	F	1989	V2PS-2	479	30		
Turdus migratorius	DIA	AD	19	F	1989	V2PS-3	368	4	286	447
Turdus migratorius	DIA	AD	39	F	1990	CC1PM-1	2715	122		
Turdus migratorius	DIA	AD	39	M	1990	CC1PM-2	223	55		
Turdus migratorius	DIA	AD	39	M	1990	CC2PM-3	605	26		
Turdus migratorius	DIA	AD	56	M	1990	OO1PM-4	1760	44		
Turdus migratorius	DIA	AD	41	M	1990	TT2PM-5	142	37		
Turdus migratorius	DIA	AD	52	M	1990	TT2PM-6	1132	70		
Turdus migratorius	DIA	AD	52	F	1990	TT2PM-7	1487	59		
Turdus migratorius	DIA	AD	43	M	1990	VV2PM-1	194	16	242	243
Turdus migratorius	DIA	AD	42	F	1990	VV2PM-2	1036	39		
Turdus migratorius	DIA	AD	42	M	1990	VV2PM-3	1964	33		
Turdus migratorius	DIA	AD	42	F	1990	VV2PM-4	1447	37		
Turdus migratorius	DIA	IM7	19		1989	B2PS-11	1121	48		
Turdus migratorius	DIA	IM7	19		1989	B2PS-12	655	27		
Turdus migratorius	DIA	IM12	19		1989	B2PS-5	699	76		
Turdus migratorius	DIA	IM11	30		1989	T2PS-16	610	5		
Turdus migratorius	DIA	IM10	30		1989	T2PS-17	610	13		
Turdus migratorius	DIA	IM9	14		1989	T2PS-8	790	39		
Turdus migratorius	DIA	IM9	14		1989	T2PS-9	453	15		
Turdus migratorius	DIA	IM7	24		1989	V2PS-6	82	12		
Turdus migratorius	DIA	IM7	24		1989	V2PS-7	144	9		
Turdus migratorius	DIA	IM6	24		1989	V2PS-8	351	36		
Turdus migratorius	DIA	IM6	24		1989	V2PS-9	462	9		
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	D1AS-1	4678	262		
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	V1AS-1	6781	104		
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	V1AS-4	6415	186		
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	V1AS-6	3019	22		
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	V1AS-10	6968	168		
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	V1AS-11	4433	92		
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	V1AS-12	3843	229		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	CC1ABC-6	3800	23		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	CC1ABC-7	3638	173		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	LL1ABC-1	4332	194		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	LL1ABC-2	3743	116		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	LL1APBC-1	4937	286		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	OO1ABC-1	4878	281		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	OO1ABC-2	4061	246		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	RR2ABC-1	3584	22		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	RR2ABC-2	2831	100		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	RR2ABC-3	3684	121		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	RR2ABC-4	4550			
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	RR2ABC-5	9515	670		
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	TT2ABC-1	2836	199		
Melospiza melodia	DIM	AD	22		1989	B1PS-2	2802	271		
Melospiza melodia	DIM	AD	41		1989	B1PS-5	1903	16		
Melospiza melodia	DIM	AD	41		1989	B1PS-6	3014	125		
Melospiza melodia	DIM	AD	41		1989	B1PS-7	1852	76	LOST	1895
Melospiza melodia	DIM	AD	47		1989	B1PS-8	2705	4		
Melospiza melodia	DIM	AD	47		1989	B1PS-9	3162	67	3153	3374
Melospiza melodia	DIM	AD			1990	BB1PBC-1	3833	178		
Melospiza melodia	DIM	AD			1990	BB1PBC-2	1760	94		
Melospiza melodia	DIM	AD			1990	BB1PBC-3	2385	88		
Melospiza melodia	DIM	AD			1990	BB1PBC-4	4898	222		
Melospiza melodia	DIM	AD	56		1990	OO1PBC-1	5685	129		

Annexe 2. Résultats des analyses de l'activité de la cholinestérase dans le plasma des espèces d'oiseaux à l'étude.

ESPÈCE	PRODUIT	ÂGE	DURÉE (HRS)	SEXE	ANNÉE	CODE	ChE (U/l)	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION SPONTANÉE	RÉACTIVATION 2PAM
Melospiza melodia	DIM	AD	54		1990	OO1PBC-3	2564	148		
Melospiza melodia	DIM	AD	54		1990	OO1PBC-4	4238	335		
Melospiza melodia	DIM	AD	54		1990	OO1PBC-5	3817	239		
Melospiza melodia	DIM	AD	44		1990	TT2PBC-2	1380	44		
Melospiza melodia	DIA	AD	24		1989	B2PS-1	4685	340		
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	B2PS-10	4680	24		
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	B2PS-7	4156	74		
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	B2PS-8	5031	132		
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	B2PS-9	4264	41		
Melospiza melodia	DIA	AD	14		1989	T2PS-10A	409	15		
Melospiza melodia	DIA	AD	14		1989	T2PS-10B	7886	281		
Melospiza melodia	DIA	AD	30		1989	T2PS-11	3172	56		
Melospiza melodia	DIA	AD	30		1989	T2PS-13	4130	58		
Melospiza melodia	DIA	AD	20		1989	T2PS-4	4562	152		
Melospiza melodia	DIA	AD	20		1989	T2PS-5	3640	25		
Melospiza melodia	DIA	AD	20		1989	T2PS-7	6068	127		
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	V2PS-1	3118	34		
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	V2PS-4	2828	23	LOST	2741
Melospiza melodia	DIA	AD	24		1989	V2PS-5	1360	24		
Melospiza melodia	DIA	AD	38		1990	CC1PBC-1	1108	20		
Melospiza melodia	DIA	AD	38		1990	CC1PBC-2	2489	95		
Melospiza melodia	DIA	AD	38		1990	CC1PBC-3	3981	102		
Melospiza melodia	DIA	AD			1990	LL2PBC-1	2664	163		
Melospiza melodia	DIA	AD	39		1990	LL2PBC-2	336	24	316	743
Melospiza melodia	DIA	AD	55		1990	LL2PBC-3	998	18	967	1302
Melospiza melodia	DIA	AD	42		1990	TT2PBC-1	1505	72		
Melospiza melodia	DIA	AD	41		1990	TT2PBC-2	1380	44		
Melospiza melodia	DIA	AD	39		1990	TT2PBC-3	1879	133		
Melospiza melodia	DIA	AD	52		1990	TT2PBC-4	1503	69		
Melospiza melodia	DIA	AD	42		1990	VV2PBC-1	3203	128		
Melospiza melodia	DIA	AD	42		1990	VV2PBC-2	6423	240		
Melospiza melodia	DIA	AD	42		1990	VV2PBC-3	3015	105		
Melospiza melodia	DIA	AD	40		1990	VV2PBC-4	7047	216		
Spizella passerina	TEM	AD			1989	D1AS-2	2732	51	2664	2462
Spizella passerina	TEM	AD			1989	V1AS-2	2265	9		
Spizella passerina	TEM	AD			1989	V1AS-5	3917	949		
Spizella passerina	TEM	AD			1989	V1AS-7	2903	37		
Spizella passerina	TEM	AD			1989	V1AS-9	5714	32		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-2	5083	188		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-4	3593	76		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-5	3203	202		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-6	3925	432		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-7	2137	107		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-8	5919	1027		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-9	2598	51		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	LL1ABF-1	5514	384		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	LL1ABF-2	3424	134		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	LL1ABF-3	4420	60		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	LL1ABF-4	2656	95		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	OO1ABF-1	5051	487		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	OO1ABF-2	3571	522		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	OO1ABF-3	4067	134		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	RR2ABF-1	3824	145		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	TT1ABF-1	4646	242		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	TT2ABF-1	2680	86		
Spizella passerina	TEM	AD			1990	TT2ABF-2	4020	207		
Spizella passerina	DIM	AD	22		1989	B1PS-1	1464	44	1518	1425
Spizella passerina	DIM	AD	26		1989	D1PS-1	3283			
Spizella passerina	DIM	AD	26		1989	D1PS-2	2610	19		
Spizella passerina	DIM	AD	26		1989	D1PS-3	2321	12		

Annexe 2. Résultats des analyses de l'activité de la cholinestérase dans le plasma des espèces d'oiseaux à l'étude.

ESPÈCE	PRODUIT	ÂGE	DURÉE (HRS)	SEXE	ANNÉE	CODE	ChE (U/l)	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION SPONTANÉE	RÉACTIVATION 2PAM
Spizella passerina	DIM	AD	36		1989	D1PS-4	2525	11		
Spizella passerina	DIM	AD	36		1989	D1PS-5	2172	15		
Spizella passerina	DIM	AD	49		1989	D1PS-9	2630	81		
Spizella passerina	DIM	AD	49		1989	D1PS-10	1255	25	1340	1321
Spizella passerina	DIM	AD	49		1989	D1PS-11	2247	128		
Spizella passerina	DIM	AD			1990	BB1PBF-1	2647	120		
Spizella passerina	DIM	AD			1990	BB1PBF-2	3958			
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-1	2396	93		
Spizella passerina	DIM	AD	17		1990	LL1PBF-16	794			
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-2	2013	125		
Spizella passerina	DIM	AD	46		1990	LL1PBF-3	1046	84		
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-4	3260	216		
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-5	223	162		
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-6	1245	78		
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-7	1803	48		
Spizella passerina	DIM	AD	41		1990	LL1PBF-8	2146	167		
Spizella passerina	DIM	AD	41		1990	OO1PBF-1	1687	152		
Spizella passerina	DIM	AD	54		1990	OO1PBF-2	3641	919		
Spizella passerina	DIM	AD	44		1990	TT1PBF-1	1706	201		
Spizella passerina	DIM	AD	43		1990	TT1PBF-2	2459	281		
Spizella passerina	DIM	AD	42		1990	TT1PBF-3	1297	82		
Spizella passerina	DIM	AD	42		1990	TT1PBF-4	2256	16		
Spizella passerina	DIM	AD	40		1990	TT1PBF-5	5177			
Spizella passerina	DIA	AD	24		1989	B2PS-2	5481			
Spizella passerina	DIA	AD	24		1989	B2PS-3	3913	132		
Spizella passerina	DIA	AD	19		1989	B2PS-14	4317	58		
Spizella passerina	DIA	AD	20		1989	T2PS-6	3176	65		
Spizella passerina	DIA	AD	41		1989	T2PS-14	6459	280		
Spizella passerina	DIA	AD	39		1990	LL1PBF-1	356	29		
Spizella passerina	DIA	AD	39		1990	LL2PBF-2	396	130		
Spizella passerina	DIA	AD	55		1990	LL2PBF-3	1466	62		
Spizella passerina	DIA	AD	53		1990	LL2PBF-4	1724	94		
Spizella passerina	DIA	AD	42		1990	TT2PBF-1	1389	99		
Spizella passerina	DIA	AD	42		1990	TT2PBF-2	1527	115		
Spizella passerina	DIA	AD	43		1990	TT2PBF-3	1104	124		
Spizella passerina	DIA	AD	43		1990	TT2PBF-4	1329	77		
Spizella passerina	DIA	AD	41		1990	TT2PBF-5	1828	154		
Spizella passerina	DIA	AD	52		1990	TT2PBF-6	1454	68		
Spizella passerina	DIA	AD	50		1990	TT2PBF-7	522	30		
Spizella passerina	DIA	AD	42		1990	VV2PBF-1	2414	104		
Spizella passerina	DIA	AD	41		1990	VV2PBF-2	2512	107		
Spizella passerina	DIA	AD	41		1990	VV2PBF-3	4269	194		

Annexe 3. Résultats des analyses de l'activité de l'acétylcholinestérase dans le cerveau des espèces à l'étude.

ESPÈCE	PRODUIT	AGE	DURÉE (HRS)	SEXE	ANNÉE	CODE	AChE (U/l)	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION SPONTANÉE	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION 2PAM	ÉCART TYPE
Turdus migratorius	TEM	AD		F	1989	C-1	30.16	0.15	31.03	0.88	31.42	0.23
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1989	D1AC-1	28.18	0.72	26.17	0.32	26.77	0.35
Turdus migratorius	TEM	AD		M	1990	RR2AM-3C	28.49	0.35				
Turdus migratorius	DIM	AD	43	M	1990	TT1PM-5C	34.52	0.07				
Turdus migratorius	DIM	AD		F	1990	BB1PM-1C	29.48	0.21				
Turdus migratorius	DIM	AD	19	M	1990	LL1PM-8C	32.94	0.22				
Turdus migratorius	DIM	IM6			1989	D1P-3	9.47	0.07	9.06	0.27	9.42	0.22
Turdus migratorius	DIA	AD	91	F	1989	L1PC-2	28.46	0.05	27.85	0.41	28.49	0.26
Turdus migratorius	DIA	AD	91	F	1989	L1PC-4	27.50	0.69	27.19	0.28	27.06	1.33
Turdus migratorius	DIA	AD	91	M	1989	L1PC-7	27.57	0.54	27.75	0.72	28.78	0.26
Turdus migratorius	DIA	AD	20	F	1989	T2PC-1	26.40	0.33	25.99	0.63	26.45	0.41
Turdus migratorius	DIA	AD	42	M	1990	VV2PM-3C	33.69	0.58				
Turdus migratorius	DIA	AD	39	M	1990	CC1PM-2C	14.33	0.62			20.67	0.14
Turdus migratorius	DIA	IM6			1989	V2P-1	8.30	0.33	8.19	0.10	10.95	0.35
Turdus migratorius	DIA	IM6			1989	V2P-2	6.61	0.03	6.28	0.16	7.46	0.20
Melospiza melodia	TEM	AD			1989	V1AC-1	25.90	1.19				
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	CC1ABC-2C	22.42	0.06				
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	LL1PBC-1C	29.27	0.37				
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	RR2ABC-1C	23.87	0.56				
Melospiza melodia	TEM	AD			1990	RR2ABC-2C	27.56	0.11				
Melospiza melodia	DIM	AD	22		1989	B1PC-2	19.75	0.34				
Melospiza melodia	DIM	AD	41		1989	B1PC-6	23.64	0.43				
Melospiza melodia	DIM	AD			1990	BB1PBC-4C	27.26	1.12				
Melospiza melodia	DIM	AD	55		1990	OO1PBC-2C	22.14	0.79				
Melospiza melodia	DIA	AD	24		1989	B2PC-1	23.03	0.04				
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	B2PC-4	22.18	0.18				
Melospiza melodia	DIA	AD	91		1989	L1PC-10	23.01	0.11				
Melospiza melodia	DIA	AD	91		1989	L1PC-6	23.71	0.24				
Melospiza melodia	DIA	AD	20		1989	T2PC-3	20.84	0.18				
Melospiza melodia	DIA	AD	91		1989	V2PC-1	21.73	0.83				
Melospiza melodia	DIA	AD	19		1989	V2PC-2	21.54	0.56				
Melospiza melodia	DIA	AD	38		1990	CC1PBC-2C	21.88	0.66				
Melospiza melodia	DIA	AD	55		1990	LL2PBC-3C	20.01	0.09				
Melospiza melodia	DIA	AD	42		1990	TT2PBC-1C	27.05	0.18				
Melospiza melodia	DIA	AD	42		1990	VV2PBC-2C	30.70	1.27				
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-1C	27.76	0.02				
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-3C	28.75	0.31				
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-4C	25.11	0.28				
Spizella passerina	TEM	AD			1990	CC1ABF-7C	26.26	0.63				
Spizella passerina	TEM	AD			1990	LL1ABF-4C	27.48	0.36				
Spizella passerina	TEM	AD			1990	OO1ABF-2C	24.25	0.44				
Spizella passerina	DIM	AD	22		1989	B1PC-1	18.05	0.06				
Spizella passerina	DIM	AD	26		1989	D1PC-1	21.06	0.40				
Spizella passerina	DIM	AD	49		1989	D1PC-10	17.68	0.09			14.70	0.01
Spizella passerina	DIM	AD	24		1989	D1PC-2	23.47	0.01				
Spizella passerina	DIM	AD	36		1989	D1PC-3	19.58	0.41				
Spizella passerina	DIM	AD	49		1989	D1PC-9	17.29	0.43				
Spizella passerina	DIM	AD			1990	BB1PBF-1C	29.34	1.39				
Spizella passerina	DIM	AD	41		1990	LL1PBF-8C	16.56	0.25			15.36	0.25
Spizella passerina	DIM	AD	19		1990	LL1PBF-15C	25.47	1.01				
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-1C	25.90	0.97				
Spizella passerina	DIM	AD			1990	LL1PBF-5C	34.75	0.09				
Spizella passerina	DIM	AD	54		1990	OO1PBF-2C	27.19	0.32				
Spizella passerina	DIM	AD	42		1990	TT1PBF-3C	23.70	0.29				
Spizella passerina	DIM	AD	42		1990	TT1PBF-4C	22.83	1.01				
Spizella passerina	DIA	AD	19		1989	B2PC-5	21.54	0.42				
Spizella passerina	DIA	AD	91		1989	L1PC-1	20.83	0.64				
Spizella passerina	DIA	AD	91		1989	L1PC-12	26.98	0.36				
Spizella passerina	DIA	AD	91		1989	L1PC-13	29.83	0.20				
Spizella passerina	DIA	AD	91		1989	L1PC-14	24.48	0.12				
Spizella passerina	DIA	AD	91		1989	L1PC-3	23.83	0.01				
Spizella passerina	DIA	AD	91		1989	L1PC-5	19.79	0.54				
Spizella passerina	DIA	AD	91		1989	L1PC-9	25.71	0.13				
Spizella passerina	DIA	AD	20		1989	T2PC-2	17.59	0.11			18.48	0.09
Spizella passerina	DIA	AD	39		1990	LL2PBF-1C	25.61	0.17				
Spizella passerina	DIA	AD	55		1990	LL2PBF-3C	14.00	0.12			14.70	0.30
Spizella passerina	DIA	AD	43		1990	TT2PBF-4C	25.59	0.65				
Spizella passerina	DIA	AD	52		1990	TT2PBF-6C	24.60	0.23				
Spizella passerina	DIA	AD	42		1990	VV2PBF-3C	23.90	0.66				

Annexe 4. Résultats tirés de d'autres études québécoises concernant l'activité de la ChE et de l'AChE dans du plasma et des cerveaux de Merle d'Amérique et de Bruant chanteur respectivement.

TISSUS	ESPÈCE	PRODUIT	ÂGE	SEXE	ChE / AChE (UI)	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION SPONTANÉE	ÉCART TYPE	RÉACTIVATION 2PAM	ÉCART TYPE	RÉFÉRENCE
plasma	Turdus migratorius	TEM	AD	-	2822	-	-	-	-	-	Grasham et al. 1990
plasma	Turdus migratorius	DIA	AD	F	2219	6	2387	8	2239	21	Morneau et al. 1990
plasma	Turdus migratorius	DIA	AD	F	936	45	1067	45	940	55	Morneau et al. 1990
plasma	Turdus migratorius	DIA	AD	F	496	41	670	26	586	88	Morneau et al. 1990
plasma	Turdus migratorius	DIA	AD	F	590	39	789	31	843	34	Morneau et al. 1990
plasma	Turdus migratorius	DIA	AD	F	956	22	1134	60	1132	24	Morneau et al. 1990
plasma	Turdus migratorius	DIA	AD	F	640	6	794	47	762	24	Morneau et al. 1990
plasma	Melospiza melodia	TEM	AD	-	3554	532	-	-	-	-	Grasham et al. 1990
cerveau	Turdus migratorius	DIA	AD	F	29.6	2.7	27.7	1.1	28.1	0.1	Grasham et al. 1990
cerveau	Turdus migratorius	DIA	AD	F	32.7	0.2	29.2	0.5	28.3	1.2	Morneau et al. 1990
cerveau	Turdus migratorius	DIA	AD	F	39.8	1.1	35.8	0.2	33.2	0.9	Morneau et al. 1990
cerveau	Turdus migratorius	DIA	AD	F	24.6	0.2	23.4	0.3	21.5	1.2	Morneau et al. 1990
cerveau	Turdus migratorius	DIA	AD	F	26.2	0.1	22.5	0.1	23.1	0.1	Morneau et al. 1990
cerveau	Turdus migratorius	DIA	AD	F	24.5	1.7	24.4	0.1	24.2	0.9	Morneau et al. 1990

Annexe 5. Effets des traitements sur le comportement nicheur du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur.

TRAITEMENT		DIMÉTHOATE							
Baisse moyenne de la ChE		Faible baisse de la ChE du sang				Forte baisse de la ChE du sang			
Nb de jours depuis l'arrosage		≤ 7 jours		> 7 jours		≤ 7 jours		> 7 jours	
Stade de la nichée		Incubation	Élevage	Incubation	Élevage	Incubation	Élevage	Incubation	Élevage
Merle d'Amérique	Durée moy. couvaison ± 1 heure	36% n=2	-	-	4% n=1	-	18% n=4	-	-
	Nb de repas servis par oisillon	-	-	-	3,0 n=1	-	**0,8** n=4	-	-
	% de repas composés de vers	-	-	-	0% n=1	-	97% n=4	-	-
	% temps alimentation dans plantation	-	-	-	-	-	-	-	-
Bruant chanteur	Durée moy. couvaison ± 1 heure	-	-	-	1% n=1	30% n=1	**47%** n=2	-	9% n=1
	Nb de repas servis par oisillon	-	-	-	3,0 n=1	-	1,0 n=2	-	0,0 n=1
	% de repas composés d'insectes	-	-	-	56% n=1	-	100% n=1	-	-

Les valeurs en caractères gras sont statistiquement différentes des valeurs associées.

Annexe 5. Effets des traitements sur le comportement nicheur du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur (SUITE).

TRAITEMENT		DIAZINON							
Baisse moyenne de la ChE		Faible baisse de la ChE du sang				Forte baisse de la ChE du sang			
Nb de jours depuis l'arrosage		≤ 7 jours		> 7 jours		≤ 7 jours		> 7 jours	
Stade de la nichée		Incubation	Élevage	Incubation	Élevage	Incubation	Élevage	Incubation	Élevage
Merle d'Amérique	Durée moy. couvaison % 1 heure	-	**4%** n=2	-	-	-	**4%** n=2	-	**10%** n=2
	Nb de repas servis par oisillon	-	**3,0** n=2	-	-	-	**1,0** n=2	-	**3,5** n=2
	% de repas composés de vers	-	**64%** n=2	-	-	-	**100%** n=2	-	**46%** n=2
	% temps alimentation dans plantation	-	-	-	-	-	-	-	-
Bruant chanteur	Durée moye. couvaison % 1 heure	-	-	-	-	**11%** n=1	**4%** n=4	**31%** n=3	**3%** n=4
	Nb de repas servis par oisillon	-	-	-	-	-	**3,5** n=4	-	**2,5** n=4
	% de repas composés d'insectes	-	-	-	-	-	**46%** n=4	-	**19%** n=4

Les valeurs en caractères gras sont statistiquement différentes des valeurs associées.

Annexe 5. Effets des traitements sur le comportement nicheur du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur (SUITE).

TRAITEMENT		SANS ORGANOPHOSPHATES					
Baisse moyenne de la ChE		TÉMOIN		SAFER			
Nb de jours depuis l'arrosage				≤ 7 jours		> 7 jours	
Stade de la nichée		Incubation	Élevage	Incubation	Élevage	Incubation	Élevage
Merle d'Amérique	Durée moy. couvaison ± 1 heure	44% n=6	7% n=11	34% n=2	22% n=4	25% n=4	4% n=2
	Nb de repas servis par oisillon	-	2,9 n=11	-	1,8 n=4	-	3,0 n=2
	% de repas composés de vers	-	72% n=11	-	97% n=4	-	100% n=2
	% temps alimentation dans plantation	-	-	-	-	-	-
Bruant chanteur	Durée moy. couvaison ± 1 heure	-	5% n=7	-	-	-	-
	Nb de repas servis par oisillon	-	3,0 n=7	-	-	-	-
	% de repas composés d'insectes	-	66% n=7	-	-	-	-

Les valeurs en caractères gras sont statistiquement différentes des valeurs associées.

Annexe 6. Relations entre les traitements et les paramètres de la nidification chez le Merle d'Amérique.

Traitement	Période	Nb moyens d'oeufs pondus (x ± Sx;(n))	Nb moyens d'oeufs éclos (x ± Sx;(n))	Nb moyens d'oisillons envolés (x ± Sx;(n))	Taux d'éclosion (%;(n))	Taux de survie des jeunes (%;(n))	Mortalité encourue depuis la ponte (%;(n))	Stade où survient la mortalité (%)		Type de mortalité (%)		
								Oeufs	Oisillons	Aucune	Partielle	Totale
Témoin	5	3,6±0,4 (37)	3,3±0,8 (18)	3,2±0,9 (15)	89 (18)	94 (15)	14 (15)	62	38	60	40	0
Diméthoate	0	3,5±0,5 (4)	3,5±0,5 (2)	3,5±0,5 (2)	100 (2)	100 (2)	0 (2)	-	-	100	0	0
	1	3,8±0,4 (8)	2,0±1,5 (8)	1,7±1,4 (7)	46 (7)	100 (7)	54 (7)	100	0	14	57	29
	2	3,7±0,4 (19)	3,5±0,7 (19)	3,4±0,7 (19)	93 (19)	99 (19)	8 (19)	83	17	68	32	0
	3	3,6±0,5 (11)	3,3±0,8 (11)	3,1±1,0 (11)	90 (11)	94 (11)	15 (11)	67	33	64	36	0
	4	3,0±0,0 (2)	3,0±0,0 (2)	2,5±0,5 (2)	100 (2)	83 (2)	17 (2)	0	100	50	50	0
	0 à 4	3,7±0,5 (44)	3,1±1,0 (42)	3,0±1,1 (41)	85 (42)	97 (41)	18 (41)	85	15	58	37	5
Diazinon	0	3,2±1,2 (5)	1,3±1,2 (3)	1,3±1,2 (3)	50 (3)	100 (3)	50 (3)	100	0	0	67	33
	1	3,0±1,2 (4)	1,8±1,8 (4)	1,8±1,8 (4)	58 (4)	100 (4)	42 (4)	100	0	50	0	50
	2	3,8±0,4 (6)	2,7±1,4 (6)	2,7±1,4 (6)	70 (6)	100 (6)	30 (6)	100	0	50	33	17
	3	3,8±0,4 (9)	3,1±1,1 (9)	2,7±1,1 (9)	82 (9)	86 (9)	29 (9)	60	40	33	67	0
	4	4,0±0,0 (2)	2,5±0,5 (2)	2,5±0,5 (2)	63 (2)	100 (2)	0[1]	-	-	100	0	0
	0 à 4	3,6±0,8 (26)	2,5±1,4 (24)	2,3±1,4 (24)	74 (24)	94 (24)	31 (24)	85	15	41	42	17
Safer	0	4,0 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,3±0,5 (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	4,0 (1)	4,0 (1)	4,0 (1)	100 (1)	100 (1)	0 (1)	-	-	100	0	0
	4	3,5±0,5 (2)	3,5±0,5 (2)	3,5±0,5 (2)	100 (2)	100 (2)	0 (2)	-	-	100	0	0
	0 à 4	3,6±0,5 (7)	3,7±0,5 (3)	3,7±0,5 (3)	100 (3)	100 (3)	0 (3)	-	-	100	0	0

[1] Les deux nids de cette période (BM-2 et BM-3) ont déjà été arrosés lors de l'incubation par du diméthoate. Étant donné que nous voulons évaluer l'effet du diazinon, nous avons considéré qu'il n'y a pas eu de mortalité suite à cet arrosage pour la période 4.

Annexe 7. Relations entre les traitements et les paramètres de la nidification chez le Bruant chanteur.

Traitement	Période	Nb moyens d'oeufs pondus (x ± Sx;(n))	Nb moyens d'oeufs éclos (x ± Sx;(n))	Nb moyens d'oisillons envolés (x ± Sx;(n))	Taux d'éclosion (%;(n))	Taux de survie des jeunes (%;(n))	Mortalité encourue depuis la ponte (%;(n))	Stade où survient la mortalité (%)		Type de mortalité (%)		
								Oeufs	Oisillons	Aucune	Partielle	Totale
Témoin	5	4,6±0,7 (21)	3,6±1,8 (12)	3,4±1,9 (9)	82 (12)	97 (9)	21 (9)	88	12	67	11	22
Diméthoate	0	4,9±,3 (8)	3,7±1,2 (3)	2,0±0,0 (2)	66 (2)	66 (2)	56 (2)	60	40	100	0	0
	1	5,0±0,0 (4)	5,0±0,0 (4)	5,0±0,0 (4)	100 (4)	100 (4)	0 (4)	-	-	100	0	0
	2	4,3±0,5 (3)	3,7±0,5 (3)	2,5±1,5 (2)	88 (2)	71 (2)	38 (2)	33	67	50	50	0
	3	4,0 (1)	4,0 (1)	4,0 (1)	100 (1)	100 (1)	0 (1)	-	-	100	0	0
	0 à 3	4,7±0,4 (16)	4,2±0,9 (11)	3,7±1,5 (9)	90 (9)	89 (9)	20 (9)	50	50	67	33	0
Diazinon	0	4,0 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	4,0 (1)	4,0 (1)	4,0 (1)	100 (1)	100 (1)	0 (1)	-	-	100	0	0
	2	4,8±0,5 (16)	4,0±1,7 (14)	3,0±1,8 (14)	84 (14)	75 (14)	37 (14)	44	56	43	36	21
	3	4,7±0,4 (4)	4,7±0,4 (4)	2,5±2,5 (4)	100 (4)	53 (4)	47 (4)	0	100	50	0	50
	0 à 3	4,7±0,5 (22)	4,1±1,5 (19)	2,9±2,0 (19)	88 (19)	71 (19)	38 (19)	32	68	48	26	26
Safer	3	4,0 (1)	4,0 (1)	4,0 (1)	100 (1)	100 (1)	0 (1)	-	-	100	0	0

Annexe 8. Effets des traitements sur le succès de reproduction du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur.

Traitement		DIMÉTHOATE					
Espèce	Stade nichée	Ponte		Incubation		Élevage	
	Baisse moyenne ChE	Faible (≤30%)	Forte (>30%)	Faible (≤30%)	Forte (>30%)	Faible (≤30%)	Forte (>30%)
Merle d'Amérique	Taille de la ponte	4,0 n=1	-	3,7±0,5 n=22	4,0±0,0 n=3	3,5±0,7 n=2	3,5±0,5 n=11
	Taux d'éclosion	100% n=1	-	81% n=22	67% n=3	83% n=2	93% n=11
	Taux de survie jeunes	100% n=1	-	99% n=21	100% n=1	100% n=2	91% n=11
Bruant chanteur Tous les nids	Taille de la ponte	-	5,0 n=1	5,0±0,0 n=2	4,3±0,6 n=3	-	4,0 n=1
	Taux d'éclosion	-	100% n=1	100% n=2	85% n=3	-	100% n=1
	Taux de survie jeunes	-	-	100% n=2	33% n=1	-	100% n=1
Bruant chanteur Nids au sol	Taille de la ponte	-	5,0 n=1	-	-	-	-
	Taux d'éclosion	-	100% n=1	-	-	-	-
	Taux de survie jeunes	-	-	-	-	-	-
Bruant chanteur Nids dans les arbres	Taille de la ponte	-	-	5,0±0,0 n=2	4,3±0,6 n=3	-	-
	Taux d'éclosion	-	-	100% n=2	85% n=3	-	-
	Taux de survie jeunes	-	-	100% n=2	33% n=1	-	-

Les valeurs en caractères gras sont statistiquement différentes des valeurs associées.

Étant donné que nous n'avons pas pu estimer l'intensité de l'arrosage subit pour l'ensemble des plantations, un grand nombre des nids ont été exclus de ce traitement. De plus, considérant le grand nombre de possibilités fournies par ce tableau, les effectifs comparés sont faibles. C'est pourquoi nous parlerons de tendances observées. En ce qui concerne les nichées de Bruant chanteur, les résultats ont été ventilés entre les nids construits dans les sapins et ceux faits au sol. Les résultats combinés des nichées de Bruant chanteur sont présentés aussi.

Annexe 8. Effets des traitements sur le succès de reproduction du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur (SUITE).

Traitement		DIAZINON					
Espèce	Stade de la nichée	Ponte		Incubation		Élevage	
	Baisse moyenne ChE	Faible (≤30%)	Forte (>30%)	Faible (≤30%)	Forte (>30%)	Faible (≤30%)	Forte (>30%)
Merle d'Amérique	Taille de la ponte	-	2,0±1,4 n=2	-	3,3±1,1 n=7	-	3,8±0,4 n=11
	Taux d'éclosion	-	17% n=2	-	50% n=7	-	77% n=11
	Taux de survie jeunes	-	100% n=1	-	100% n=1	-	91% n=11
Bruant chanteur Tous les nids	Taille de la ponte	-	-	5,0 n=1	4,7±0,6 n=14	5,0±0,0 n=2	4,5±0,7 n=2
	Taux d'éclosion	-	-	100% n=1	84% n=14	100% n=2	100% n=2
	Taux de survie jeunes	-	-	100% n=1	77% n=12	50% n=2	50% n=2
Bruant chanteur Nids au sol	Taille de la ponte	-	-	-	4,7±0,7 n=8	-	
	Taux d'éclosion	-	-	-	75% n=8	-	
	Taux de survie jeunes	-	-	-	80% n=6	-	
Bruant chanteur Nids dans les arbres	Taille de la ponte	-	-	5,0 n=1	4,7±0,5 n=4	5,0±0,0 n=2	4,5±0,7 n=2
	Taux d'éclosion	-	-	100% n=1	100% n=4	100% n=2	100% n=2
	Taux de survie jeunes	-	-	100% n=1	60% n=4	50% n=2	50% n=2

Les valeurs en caractères gras sont statistiquement différentes des valeurs associées.

Annexe 8. Effets des traitements sur le succès de reproduction du Merle d'Amérique et du Bruant chanteur (SUITE).

Traitement		SANS ORGANOPHOSPHATE			
Espèce	Stade nichée	TÉMOIN	SAFER		
	Baisse moyenne ChE		Ponte	Incubation	Élevage
Merle d'Amérique	Taille de la ponte	3,7±0,5 n=18	-	-	3,7±0,6 n=3
	Taux d'éclosion	89% n=18	-	-	100% n=3
	Taux de survie jeunes	93% n=15	-	-	100% n=3
Bruant chanteur Tous les nids	Taille de la ponte	4,2±0,7 n=12	-	-	4,0 n=1
	Taux d'éclosion	82% n=12	-	-	100% n=1
	Taux de survie jeunes	96% n=7	-	-	100% n=1
Bruant chanteur Nids au sol	Taille de la ponte	s/o	-	-	-
	Taux d'éclosion	s/o	-	-	-
	Taux de survie jeunes	s/o	-	-	-
Bruant chanteur Nids dans les arbres	Taille de la ponte	s/o	-	-	4,0 n=1
	Taux d'éclosion	s/o	-	-	100% n=1
	Taux de survie jeunes	s/o	-	-	100% n=1

Les valeurs en caractères gras sont statistiquement différentes des valeurs associées.